



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра водно-технических изысканий

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

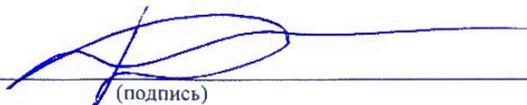
На тему **Осадконакопление в водоемах**

Исполнитель _____ Келль Анастасия Николаевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____ кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

_____ Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

_____ 
(подпись)

_____ кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

_____ Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

«06» июня 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

Содержание

Введение.....	2
1. Историческая справка.....	5
2. Гидрологический режим р. Фонтанки	7
3. Твердый сток р. Фонтанки	21
3.1 Источники поступления наносов.....	21
3.2 Натурные исследования донных отложений р. Фонтанки	26
3.3 Методика расчета занесения р. Фонтанки.....	49
3.4 Методика расчета заиления р. Фонтанки	59
4. Определение межремонтных сроков очистки русла	64
Заключение	66
Список использованных источников	68

Введение

Речными наносами называются твердые частицы минерального и органического происхождения, переносимые водным потоком и формирующие русла и поймы рек, дно водоемов.

В зависимости от крупности частиц наносы выделяют семь основных фракций. Основной характеристикой при отнесении частицы к той или иной фракции является ее средний диаметр – диаметр равновеликого по объему шара.

По характеру перемещения в потоке выделяют взвешенные и донные (влекомые) наносы.

Взвешенные наносы представляют собой частицы, перемещающиеся вместе с потоком во взвешенном состоянии. Они формируются за счет наиболее мелких фракций, крупность которых увеличивается по мере приближения ко дну. Характеристикой количественного распределения взвешенных наносов в потоке является мутность воды, т. е. содержание массы наносов в единице объема смеси воды с наносами. Мутность воды неравномерно распределяется как по глубине, так и по ширине потока.

К донным (влекомым) наносам относятся частицы, перемещаемые потоком в придонном слое путем скольжения, перекачивания и сальтации. Характер движения существенно зависит от многих параметров, например, скорости течения и турбулентности потока, формы, размеров и массы частиц. Считается, что сальтация – основной вид движения влекомых наносов. Поскольку перемещение сальтацией происходит путем периодического взвешивания частиц, невозможно провести четкую границу между взвешенными и влекомыми наносами. В пробах воды на мутность часто могут встречаться довольно крупные частицы, характерные при данной гидравлике потока для влекомых наносов, в свою очередь влекомые наносы также могут

содержать мелкие частицы. Это объясняется широкими пределами изменения периода и высоты взмыва частиц при сальтации из-за постоянного изменения характеристик пульсации скоростей течения.

Наносы, формирующие ложе потока и находящиеся в данный момент в состоянии покоя, называются донными отложениями. Донные отложения подвергаются постоянной переработке потоком [1].

Осадконакопление в водоемах является актуальной темой, поскольку на многих водоемах и водотоках производятся дноуглубительные и уборочные работы, для проведения которых необходимы расчет скорости заносимости и определение других параметров осадконакопления. Подобные работы положительно сказываются на водотоках: улучшается гидродинамика потока, существенно уменьшается количество растительности.

Целью магистерской диссертации является расчет скорости заносимости и определение границ осаждения различных по крупности фракций на примере р. Фонтанки, а также разработка предложений по проведению дноочистных работ. К задачам, сформулированным для достижения цели, относятся:

- исследование гранулометрического состава донных отложений р. Фонтанки;
- определение свойств донных отложений, характерных для р. Фонтанки;
- определение мощности донных отложений в исследуемых створах;
- определение величины мутности и распределения взвешенных наносов на поперечных профилях в меженьный период;
- определение динамики поступления наносов в водотоки путем оценки изменения мутности потока вдоль русла;
- моделирование процесса занесения при помощи программного обеспечения HEC-RAS;
- определение скорости заносимости речными наносами;
- выявление участков водотоков, наиболее подверженных процессам заносимости;
- определение распределения слоев наилка по фракциям;

- определение границ полного осаждения фракций;
- оценка результатов определения скорости заносимости, составление рекомендаций по проведению дноочистных работ.

1.Историческая справка

Река Фонтанка – одна из крупнейших водных артерий Санкт-Петербурга, протекает через всю центральную часть города, на всем протяжении ее берега имеют гранитную набережную. Река пересекается многочисленными мостами, движение автотранспорта по ее берегам весьма интенсивно.

Истоком Фонтанки является р. Нева по левому берегу в 7 км от ее устья. Ее длина составляет около 6.7 км[2], ширина от 35 до 70 м, глубина 2.6 до 3.5 м [3].

Первое упоминание о реке Фонтанке относится к XVIII веку, когда река использовалась для подачи воды в фонтаны в парках и дворцах. В 1719 году Петр I поручил архитектору Доменико Трезини создать на реке Фонтанке каскад фонтанов, который стал одним из символов Санкт-Петербурга. Этот каскад фонтанов был украшением Летнего сада и являлся одним из первых фонтанов в России [4].

До 1712-1714 гг. река Фонтанка имела название Ерик или Безымянный Ерик. Она представляла собой небольшую болотную реку, в своем течении образующую острова и заводи. В 1743-1752 гг. река была расчищена и укреплена деревянной набережной. В 1780-1789 гг. была произведена повторная очистка и углубление, а также были возведены гранитные набережные. Новое название – река Фонтанка – она получила от фонтанов, устроенных в Летнем саду. Вода в фонтаны подавалась из трубы, выведенной из пруда-бассейна на углу нынешних Греческого проспекта и улицы Некрасова, куда вода поступала самотеком по Литовскому каналу. Из этого же пруда-бассейна был в последующем проведен небольшой канал Саморойка к прудам Таврического сада, который был засыпан в начале XIX в.. В середине XVIII в. Фонтанка считалась загородной местностью [5].

В 1730 году на берегу реки был построен один из дворцов графов Шереметьевых, который был назван Фонтанным домом. В дальнейшем здесь были построены другие дворцы и здания, такие как Летний сад, Михайловский замок, Русский музей и другие. Все эти здания являются памятниками архитектуры и истории города. В настоящее время река Фонтанка является одной из главных достопримечательностей Санкт-Петербурга[6].

2. Гидрологический режим р. Фонтанки

Р. Фонтанка стекает из р. Невы в районе Кутузовской набережной, впадает в р. Большая Нева в районе ее устья. Протекает по центральной части г. Санкт-Петербурга (рис. 2.1).

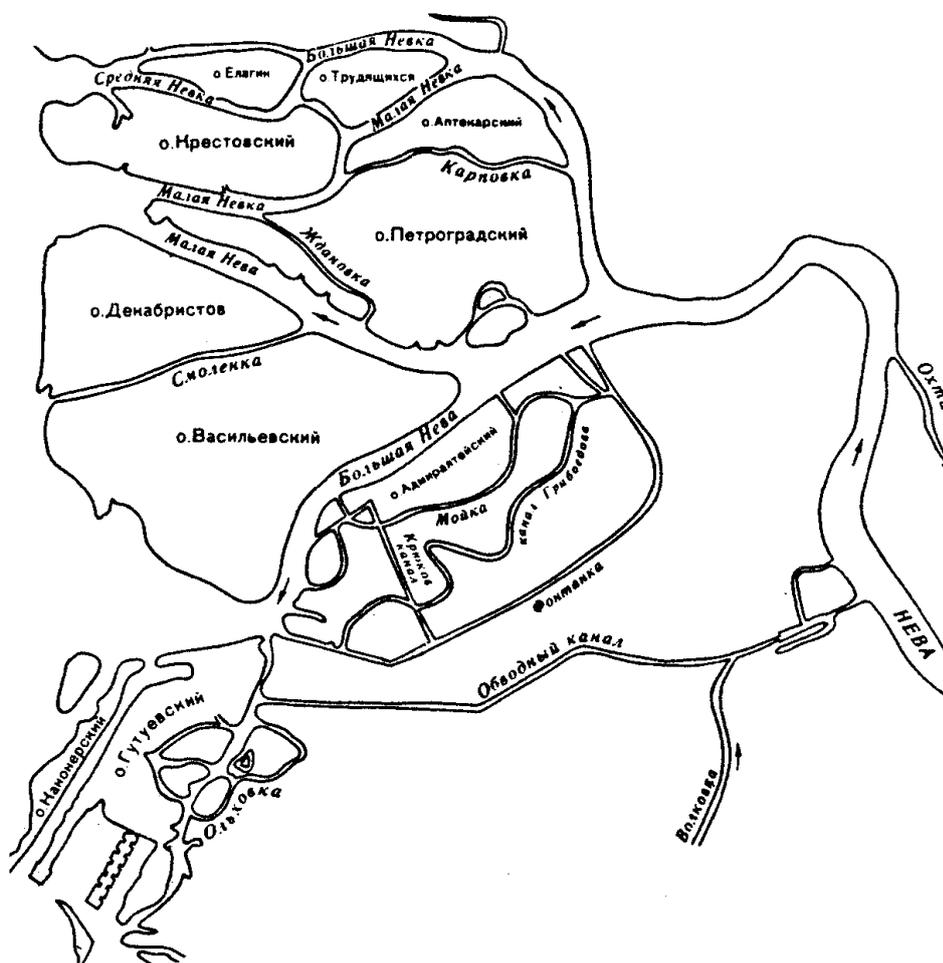


Рисунок 2.1 – Схема дельты р. Невы

Берега облицованы гранитными плитами, высота – 2-3 м, углы откосов до 90°.

В районе Пантелеймоновского моста из Фонтанки справа вытекает р. Мойка. Немного ниже по течению в Фонтанку справа выходят рвы Михайловского замка. В районе Красноармейского моста в Фонтанку справа впадает Крюков канал. В нижнем течении в р. Фонтанка справа впадает канал Грибоедова.

В приустьевой части правый берег естественный, высотой до 4 м, с углом уклона до 60°, порос крупными деревьями.

Между Семеновским мостом и мостом Белинского к берегам Фонтанки пришвартованы до нескольких десятков дебаркадеров - пристаней прогулочных судов.

Гидрологический режим в реке полностью определяется режимом реки Невы.

Уровеньный режим Невы сложный и своеобразный, что является результатом воздействия нагонов и сгонов в Шлиссельбургской губе, а также заторов, зажоров, приливов, отливов, сейш и длинных волн в Финском заливе.

Любое изменение уровня в Шлиссельбургской губе мгновенно отражается на расходе воды в Неве. С повышением уровня увеличивается расход, и наоборот. В истоке реки преобладающее влияние оказывает Ладожское озеро. По направлению от истока к устью влияние озера на уровень Невы ослабевает. В пределах же дельты, где площадь поперечного сечения русла в 7-10 раз больше, чем на остальной реке, уровень воды уже практически не зависит от расхода.

Ледяной покров на ряде участков Невы возникает из хаотического скопления битого льда и шуги, спрессованных влекущим усилием водного потока и смерзшихся под действием отрицательной температуры. Такой слой льда стесняет живое сечение и создает дополнительное сопротивление, что

может вызвать подъем уровня до 3.0-3.3 м. Весной при вскрытии иногда возникают заторы, также сопровождающиеся резкими колебаниями уровня.

Ледяной покров Невской губы обычно ровный. Верхний слой льда непрозрачный, мутно-белого цвета, представляет собой промерзший мокрый снег. Нижние слои льда свинцово-серого цвета и довольно прозрачные. Иногда в начале зимы, пока лед не достиг толщины 15-20 см, отмечаются его подвижки и торшение. Происходит это преимущественно при ветрах западных румбов, которые сопровождаются подъемом воды. С повышением уровня ледяной покров отрывается от берегов, в нем возникают сквозные трещины. Ветер довершает разрушение. Также сплошной ледяной покров может превращаться в мозаику плит самой различной формы и величины. Каждая плита живет своей жизнью. На стыке двух плит образуются либо торосы, либо разводья. Наползая на берег, льдины способствуют образованию невысоких валов песка.

В устье Невы и в Невской губе влияние расхода воды, заторов и зажоров льда ледяного покрова на уровень режим пренебрежимо мало. Основное влияние здесь оказывает Балтика. Любые колебания водной поверхности моря и особенно Финского залива передаются в Невскую губу, значительно усиливаются в ней из-за мелководности и распространяются вверх по Неве, постепенно затухая.

В Невской губе, хотя она и находится в глубине материка наблюдаются приливы и отливы. Они отчетливо обнаруживаются лишь в безветренную погоду. Средняя их высота составляет 6-10 см, наибольшая 20-25 см (в июле и декабре)[5].

Своеобразие зимнего режима р. Невы состоит в том, что, с одной стороны, при появлении ледяного покрова в Шлиссельбургской губе сокращается расход воды и понижаются уровни по всей реке. С другой стороны, уровни повышаются из-за стеснения русла ледяным покровом. В результате продольный профиль водной поверхности реки большую часть

зимнего периода оказывается заметно выровненным. Кроме того, ледяной покров влияет на резкие сгонно-нагонные колебания уровня в низовьях реки, уменьшая их.

Ветер оказывает на поверхность Финского залива значительное воздействие. В зависимости от скорости, направления и продолжительности ветра, траектории перемещения циклона и других факторов в акватории Финского залива и Балтике в целом формируется длинная волна, нагон – сгон, или сейша, также эти явления могут накладываться друг на друга. Водяной холм, или вал небольшой высоты и большой длины, перемещающийся в направлении движения породившего его циклона, называется длинной волной. Причиной возникновения нагона и сгона является влекущее усилие ветрового потока на плоскости раздела вода–воздух, при этом у наветренного берега уровень повышается, а у подветренного – падает. После прекращения действия ветра водные массы Финского залива, стремясь прийти в равновесное положение, совершают постепенные затухающие сейшеобразные колебательные движения около одного или нескольких центров (узлов).

Любой подъем уровня воды в Невской губе и дельте р. Невы, вызванный ветровым воздействием, принято сокращенно называть нагоном, а спад – сгоном. Это объясняется тем, что водная поверхность Финского залива никогда не бывает горизонтальной, чаще всего из-за ветровых нагонов и сгонов. В особую группу следует выделить случаи очень больших нагонов и сгонов.

Процесс возникновения большого нагона воды в устье р. Невы представляется следующим образом. Циклоны, пересекающие Балтийское море, выводят из равновесия его водные массы, формируя длинную волну. Возникновению длинной волны способствует как статический эффект (пониженное атмосферное давление в центре циклона), так и динамический эффект (дующие к центру циклона ветры). Особое значение в формировании наводнения имеют те циклоны, которые пересекают Балтику с юго-запада на северо-восток; в этом длинная волна перемещается циклоном к горлу Финского

залива. Самой благоприятной ситуацией считаются условия, когда имеется система из основногоциклона и движущегося по его южной периферии углубляющегося частного циклона. При этом в горле залива возникает четко выраженнаявспученность за счет воды, согнанной сюда из открытых районов Балтики, и отчасти за счет воды из центральных районов Финского залива (поскольку над заливом в это время дуют восточные ветры)[7].

Первоначально высота длинной волны в горле Финского залива обычно составляет 30-50 см, скорость распространения ее гребня – 40-60 км/ч. При продвижении по широкой и глубокой части залива высота и скорость волны мало меняются; с подходом к вершине залива он становится уже и мельче, из-за чего возрастает высота волны, из-за неровностей берегов и дна усложняется форма волны.

Значительный подъем воды в устье Невы (до 130-150 см) также возможен за счет нагона, создаваемого устойчивым западным ветром на Финском заливе, без длинной волны, однако такие случаи практически не наблюдаются. Сравнительно неширокая полоса штормовых западных ветров в перемещающемся циклоне одновременно охватывает лишь часть залива.

Ветровая и волновая формы денивеляции водной поверхности моря после прекращения действия вынуждающей силы трансформируется в постепенно затухающее сейшеобразное колебание водных масс около одного или нескольких центров (узлов). В Финском заливе известны два основных вида сейш, а именно:

- одноузловая сейша в направлении юг Балтийского моря – Финский залив с периодом колебания 24 ч, средней высотой 20-30 см и максимальной – 140-150 см;
- двухузловая сейша в направлении о. Гогланд – Аландские острова с периодом колебания 8 ч, средней высотой 30-50 см и максимальной 80-100 см.

Роль сейш в формировании больших подъемов воды в устье р. Невы особенно велика, когда циклоны движутся над Балтийским морем серией с

интервалом 24-28 ч. При этом водные массы раскачиваются, и на предыдущие колебания накладываются последующие.

В конечном счете длинная волна, ветровой нагон и сейша имеют одну и ту же причину – изменение во времени и в пространстве атмосферного давления. Поэтому ни одна из названных форм денивеляции водной поверхности редко бывает в чистом виде. Можно лишь говорить о преобладании той или иной формы в данном конкретном случае. Тем не менее, выделение составляющих важно для познания процесса, поиска методов его предсказания и т. д.

Сгон воды по сравнению с нагоном – более простое явление, в особенности если иметь в виду значительные сгоны. Ежегодно в устье р. Невы и в Невской губе бывает около 50 случаев сгонов с минимальным уровнем на 30 см ниже ординара и 2-3 сгона на 70 см ниже ординара. За 132 года наблюдений (1878-2011 гг.) самые минимальные уровни во время сгона были зафиксированы 2.11.1910 г. у Горного института (– 124 см БС) и 22.09.1883 г. у Кронштадта (– 172 см БС).

Падение уровня при сгоне происходит медленнее, чем его восстановление. Очень большие сгоны всегда кратковременны и длятся 1-2 сут.

Большой сгон вызывается сильным и устойчивым восточным ветром, который может быть как при антициклональной, так и при циклональной погоде. Циклон вызывает сгон, если его цент находится южнее Балтийского моря, при этом Финский залив накрывается северной периферией циклона, где дуют восточные ветры. Антициклон приводит к сгону, если его центр располагается над Скандинавией или севером европейской части России. В этом случае Финский залив попадает в южную периферию антициклона, где господствуют ветры восточных направлений. Однако ни циклон, ни антициклон сами по себе не могут вызвать очень большой сгон. Чтобы это

произошло, циклон и антициклон должны располагаться парой, а их стык приходится на Финский залив. Ветровые потоки на стыке циклона и антициклона, дополняя друг друга, достигают особой силы и устойчивости [8].

Одновременное влияние Финского залива и Ладожского озера – основная особенность водного режима р. Невы, отличающегося сравнительно равномерным распределением стока в году. Еще одной особенностью уровня режима Невы является отсутствие паводков от дождевых осадков. Это объясняется малым объемом дождевого стока с частного водосбора (между истоком и устьем р. Невы, площадь этого водосбора составляет 1.8 % от общей площади речного бассейна). Небольшое по амплитуде колебаний уровня половодье, которое является продолжительной разгрузкой талой воды в Ладожском озере, проходит в течение летнего периода. Наибольшие расходы воды, уклоны водной поверхности реки и, следовательно, максимальные скорости течения обычно наблюдаются в третьей декаде июня [9].

В нижнем течении р. Невы, особенно в пределах дельты, уровни мало зависят от расходов воды.

Наибольшее значение в нижнем течении имеют колебания уровня, связанные со сгонно-нагонными денивеляциями водной поверхности Невской губы и вторжениями «длинных волн» с Балтийского моря в Финский залив и Невскую губу. Сочетание этих явлений или их одновременное действие приводят к наводнениям. Наводнениями принято считать подъемы уровней воды у Горного института выше 1.60 м БС.

Минимальные уровни наблюдаются при сгонах воды, вызываемых ветрами восточного сектора. Сток воды р. Невы относительно стабилен как в многолетнем рассмотрении, так и по сезонам гидрологического года. В качестве периода свободного ото льда принят временной интервал с мая по октябрь; более или менее выраженные ледовые явления наблюдаются на р. Неве в ноябре-апреле.

Внутригодовое распределение стока р. Невы определяется озерным влиянием Ладоги: расходы воды достигают максимума в двадцатых числах июня, в среднемесечном рассмотрении наиболее многоводен июль. Наименьшие расходы воды наблюдаются в декабре-январе. Это объясняется не только понижением уровней Ладожского озера, но и типичными для р. Невы зажорно-заторными явлениями в начале зимнего сезона. Особенно резкое уменьшение расходов воды происходит при образовании зажора-затора в истоке реки, несколько ниже по течению от о. Орешка.

Внутригодовое распределение расходов воды р. Невы (по месяцам) показано в табл. 1.1 Здесь расходы соотнесены с водностью года.

Таблица 1.1 – Внутригодовое распределение стока воды р. Невы у Новосаратовки, м³/с

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1924 г. - самый многоводный												
2870	2760	2920	3700	4280	4450	4390	4180	3980	3800	3590	3210	3670
1927 г. - средний по водности												
1660	1620	2440	2630	2920	3120	3150	3020	2930	2820	2360	1850	2540
1940 г. - самый многоводный												
747	770	921	1280	1790	1770	1540	1460	1520	1540	1400	1270	1340

Распределение невской воды по рукавам дельты и фарватерам взморья не остается постоянным и зависит от многих причин: расхода и уровня воды в самой Неве, толщины ледяного покрова и пр., а главное от силы и направления ветра. Однако влияние этих причин сравнительно невелико и с приемлемой для практических целей точностью с ними можно не считаться, – по крайней мере для главных рукавов дельты в диапазоне уровня от – 50 до 100 см БС и скорости ветра от 0 до 12 м/с. Что касается малых водотоков дельты, то здесь положение несколько иное. Замечено, что при значительных нагонах воды,

сопровождающихся западным ветром, в них уменьшаются расходы воды, более того, возникает обратное течение, и вода перетекает из малых рукавов в большие.

Регулярные наблюдения за гидрологическим режимом на р. Фонтанке не производятся.

Сток р. Фонтанки в среднем составляет приблизительно 1% стока р. Невы[5]. Среднемесячные расходы воды р. Фонтанки приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Среднемесячные расходы р. Фонтанки, м³/с

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
27.1	25.6	31.3	31.3	31.3	28.6	28.6	30.0	30.0	30.0	28.6	36.2	30.0

Из таблицы 1.2 видно, что в целом сток р. Фонтанки выровнен в течение года в результате влияния р. Невы.

Температурный режим воды в Неве также находится под влиянием Ладожского озера.

«Температура невольской воды почти одинакова по ширине, глубине и длине реки, что является результатом воздействия высокой скорости течения и интенсивного перемешивания. В апреле-июле температура воды заметно ниже температуры воздуха; в августе температуры воды и воздуха выравниваются; с сентября по ноябрь температура воды выше температуры воздуха. Диапазон колебания температуры воды в течение суток невелик, он уменьшается от весны к осени и составляет 0.5-1.0°С в мае и 0.1-0.3°С в октябре. Колебания температуры воды от суток к суткам также незначительны. Повышение температуры воды обычно продолжается до конца июля, часто значения достигают 18-20°С.

Температура воды в Невской губе в большей степени следует за температурой воздуха. Этим, в частности, объясняется, что в летние месяцы при маловетреной погоде суточная амплитуда колебаний температуры воды в поверхностном слое составляет около 2-3°C. В период нагрева водных масс (апрель-июль), температура воды у берегов несколько выше, чем в центре губы, а в период интенсивного охлаждения (октябрь-ноябрь), напротив, ниже; различие это наиболее заметно в годы с малой водностью.

В летний период невяская вода за время ее добегания вдоль губы (около шести суток) нагревается в среднем на 2-3°C, и у острова Котлин вода достигает той же температуры, что и воздух.

В прибрежных районах Невской губы к концу июля вода нагревается обычно до 21-23°C.

Вода в р. Неве достаточно прозрачная. Цвет воды — зеленовато-желтоватый из-за присутствия органических веществ растительного происхождения.

Прозрачность и цвет воды изменяются в течение года. Весной в период обильного притока речной воды в Ладожское озеро вода в Неве приобретает желтовато-бурый оттенок. Особенно резкие изменения происходят во время штормов на Ладоге — главным образом потому, что волнение поднимает со дна Шлиссельбургской губы ил и песок.

Воды реки Невы, попадая в Невскую губу, не меняют своей мутности и прозрачности, при условии безветренной погоды. В ветреную погоду мутность увеличивается в направлении ветра и, например, при западном ветре 10 м/с на отмелях невяского бара составляет 20-25 мг/л. С борта теплохода отчетливо видны по мутной белесой воде, а фарватеры л — по воде темно-синего цвета. При жестоком шторме на прибрежных отмелях можно ожидать мутность до 1000-1500 мг/л.

В последнее время в прибрежных зонах губы вблизи намываемых территорий мутность воды увеличилась. Это связано с тем, что для нужд строительства города из подводных карьеров рефулерами подняты на берег

десятки миллионов тонн грунта; часть этого грунта возвратилась в губу с недостаточно осветленной водой»[5].

По составу растворенных минеральных веществ вода в Неве относится к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе с реакцией, близкой к нейтральной ($\text{pH} \approx 7$). Вода мягкая: общая жесткость 0.60 мг-экв/л, устранимая жесткость 0.45 мг-экв/л; она не имеет определенного вкуса или запаха. Щелочность 0.45 мг-экв/л, сухой остаток 70 мг/л. Большая часть железа находится в закисной форме (Fe^{2+}), оно попадает из многочисленных болот, расположенных на водосборе [10].

Растворенные органические вещества имеют преимущественно почвенное происхождение: они на 80-90 % состоят из устойчивых гуминовых кислот. Присутствует большое количество фенолов природного происхождения, которые являются продуктами гниения опавшей хвои, коры и древесины.

Самая примечательная особенность химического состава невской воды — это постоянная и высокая насыщенность ее кислородом (90-100%). Здесь решающее значение имеет хорошая аэрация водных масс при частом и сильном волнении на Ладожском и других озерах. Из-за холодной воды и бедной органической жизни кислород не истрачивается на окисление отмершей органики. Содержание CO_2 невелико (1-3 мг/л), и вода обладает слабоагрессивным выщелачивающим свойством на бетон.

Природный состав невской воды подвержен изменениям в течение года, хотя и не очень значительным — как правило, концентрация какого-либо вещества колеблется в пределах 0.7-1.4 от его средней величины, что является результатом регулирующего влияния озер, расположенных на водосборе.

Качество невской воды в пределах Санкт-Петербурга меняется из-за сброса сточных.

Невская губа, будучи частью Финского залива, представляет собой пресноводный водоем. Но эпизодически по дну Северного фарватера и Морского канала из залива в губу вторгаются солоноватые морские воды (в виде компенсационных придонных течений присильных и устойчивых сгонов).

Концентрация солей NaCl достигает в них иногда 4000-6000 мг/л, что в 6-9 раз превышает норматив для источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения (660 мг/л). В Морском канале вблизи восточной оконечности острова Котлин на глубине 4-6 м соленость превосходит указанный предел около 70 дней в году, а на Северном фарватере – около 40 дней.

По Северному фарватеру солоноватые воды не проникают далеко; они лишь время от времени заполняют понижение, ограниченное пятиметровой изобатой. По Морскому каналу солоноватые воды большей частью достигают траверза Петродворца, но иногда распространяются до Золотых ворот и даже до Морского торгового порта. Расход солоноватых вод в канале невелик (обычно 50-100 м³/с, изредка 300-400 м³/с), и выход этих вод за бровки канала – явление редкое.

Приток солоноватых вод составляет около 1% от суммарного притока воды из залива вгубу и поэтому не оказывает заметного влияния на экологию губы [11].

«В Неве нет макрофитов (высшей водной растительности). В прибрежных зонах Невской губы до глубины 1.3-1.5 м макрофиты (камыш, тростник, хвощ и др.) весьма распространены. На песчаных грунтах встречаются волоснец, овсяница песчаная и др., а на илистых грунтах – разного рода травянистые растения. Сплошные заросли макрофитов имеются у северного берега острова Котлин.

Фитопланктон – мельчайшие водоросли, живущие в воде во взвешенном состоянии, – до последнего времени был представлен в Невской губе в основном диатомовыми. С возросшей биогенной нагрузкой губы наиболее распространенными зелеными водорослями. Поскольку фитопланктон очень чувствителен к внешним условиям (освещенность, волнение, температура и пр.), то его количественные характеристики колеблются в широком диапазоне. Так, в поверхностном слое от зимы к лету они возрастают следующим образом:

число видов – от 15-20 до 20-30, биомасса – от 0.02-0.06 до 2-5 мг/л, численность клеток – от 15-30 тысяч до 2-6 миллионов на литр.

По степени трофности (насыщенности воды органикой растительного происхождения) Невская губа делится на три зоны:

- зона перехода от олиготрофных условий к мезотрофным (от малого содержания органики к среднему) – центральный район, около 60% площади губы;
- зона мезотрофных условий (среднее содержание органики) – северные прибрежные районы, 30% площади губы;
- зона перехода от мезотрофных условий к евтрофным (от средней органики к богатой) – южные районы, 10% площади губы.

Благодаря насыщенности воды кислородом, частому волнению, хорошему водообмену Невская губа обладает высокой очистительной способностью. Если содержание бактерий на невском баре принять за 100%, то у острова Котлин остается: сапрофитов в среднем 10%, кишечных палочек – 2%.

Зоопланктон и бентос реки в целом небогаты. В Неве встречается 21 вид рыб, среди них преобладают проходные и полупроходные рыбы. Промысловое значение имеют корюшка, минога, ряпушка, лосось.

Из всех рыб, обитающих в Неве, наиболее ценная — лосось. Взрослый лосось имеет длину 75-95 см и вес 5-9 кг. Отдельные экземпляры достигают 110 см в длину и 17 кг в весе. Нерестилища лосося расположены в верхней части реки в местах с быстрым течением и галечным дном. Молодь живет в реке два-три года, затем уходит в море, где более обильная пища, и спустя два-четыре года возвращается.

Из Ладоги в Неву иногда заходит тюлень (нерпа). Это довольно крупный зверь длиной 1.0-1,5 м и весом 30-80 кг. Также заходит в устье Невы балтийский кольчатый тюлень.

Зоопланктон губы небогат (численность 20-80 экз/м³, биомасса 0.2-1.5 г/м³). Среди планктонных животных преобладают коловратки, за ними следуют ракообразные.

Донная фауна (бентос) губы бедна в видовом отношении и представлена главным образом малощетинковыми червями (олигохетами) и мелкими двустворчатыми моллюсками. В среднем биомасса бентоса составляет 10-30 г/м², численность ее – 1000-3000 экз/м². На долю олигохет приходится 90% численности донной фауны и 70% ее биомассы. Виды организмов распределяются по акватории крайне неравномерно – в зависимости от грунта, глубины и других факторов. Больше всего биомассы на илистых грунтах (50–60 г/м²) и меньше всего на песчано-галечном и каменистом дне (2-5 г/м²). В течение года видовой состав бентоса не меняется. Сохраняются и места обитания. Несмотря на видовое однообразие, по бентосу губа может быть отнесена к высококормным водоемам.

Невская губа представляет собой ценный рыбохозяйственный водоем. Благодаря своей опресненности, хорошей аэрации, достаточной прогреваемости, высокой насыщенности кислородом, наличию зарослей другой высшей водной растительности в губе находят благоприятные условия для нереста и откорма многие виды рыб. Всего в губе встречается 27 видов рыб. Ежегодно тут вылавливается 1000—3000 т рыбы, из них треть приходится на корюшку.

Особое значение имеют прибрежные отмели губы, где расположены нерестилища судака, леща и других частичковых рыб. Недалеко от них пролегают миграционные пути лососевых рыб, миноги и угря» [5].

Сведений, достоверно подтверждающих факт присутствия фауны в р. Фонтанке, не найдено. Возможно, это связано с шириной Фонтанки (от 30 до 70 м). Так как исток реки Фонтанки — Нева, есть вероятность, что некоторые обитатели Невы могут наблюдаться и здесь.

Устье Невы и Невская губа находятся на пути массового морского перелета птиц. Камышовые заросли Лахтинского разлива становятся ранней весной местом отдыха и кормежки многочисленных стай гусей, уток, лебедей и других птиц [5].

3. Твердый сток р. Фонтанки

3.1 Источники поступления наносов

Формирование донных отложений водной системы р.Фонтанки происходит в результате сложных процессов осаждения минерального и органического вещества (рисунок 3.1).

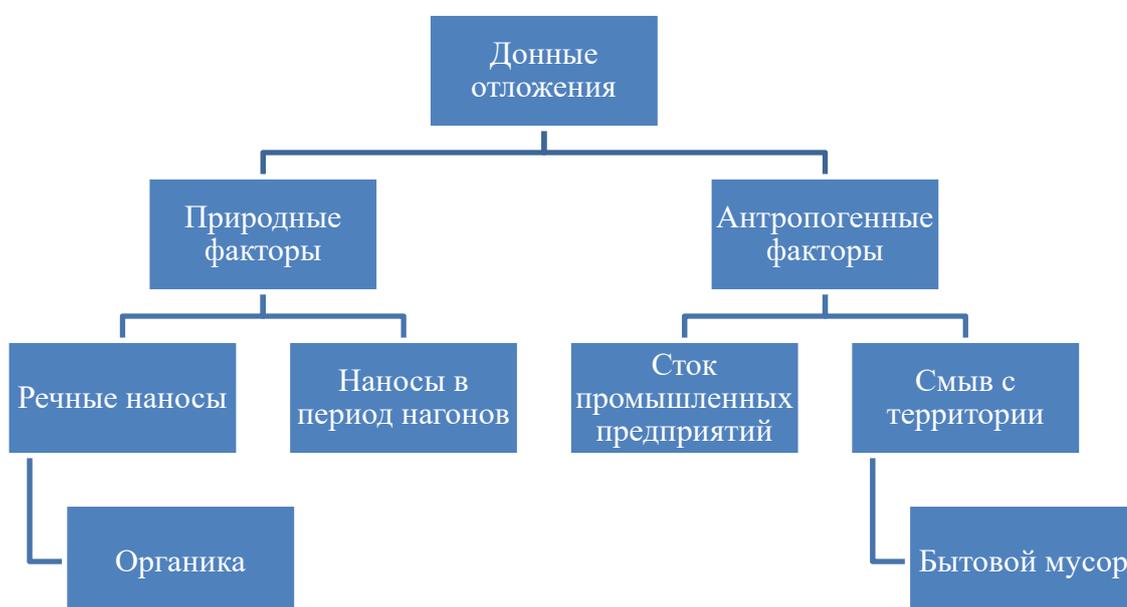


Рисунок 3.1– Основные источники формирования донных отложений р.Фонтанки

В качестве основных факторов формирования донных отложений выступают природные и антропогенные факторы.

Наносы в водную систему р.Фонтанки поступают несколькими путями. Первый – сверху, через исток Фонтанки, Лебяжий, Зимний и Ново-Адмиралтейский каналы, и фактически представляют собой часть твердого стока Невы. Вторым путем – снизу, в период нагонов и наводнений, за счет

интенсивного волнового взмучивания донных отложений Невской губы. Третий – с берегов водотоков, за счет поступления наносов со стоками промышленных предприятий, ливневыми стоками, а также за счет бытового мусора. Помимо минеральной составляющей, донные отложения представлены и органической составляющей, образующейся в результате отмирания водной растительности и микроорганизмов.

Количество песка, поступающего в водотоки с ливневыми стоками, обуславливается в основном интенсивностью работ коммунальных служб по обеспечению безопасности движения автотранспорта при возникновении гололеда на трассах, что носит эксклюзивный характер и ориентировочно составляет до 0.5 – 1 тонны песка на километр автотрассы, проходящей вдоль водотока. При этом среднестатистическая частота распыления песка на автотрассу за зимний период составляет примерно десять реализаций. В тоже время, существуют отдельные виды строительных отходов, которые могут оказывать влияние на процессы заносимости. В частности, среди них можно указать обломки штукатурки и кирпича, которые, как правило, концентрируются в прибрежной части водотоков в местах проведения строительных работ по реконструкции зданий. При этом кирпичные обломки сохраняются и накапливаются в локальных местах сброса в водоток, а штукатурка и подобные ей материалы подвергаются постепенной деструкции в водной среде с последующим медленным выносом течением водотока в нижнюю часть водотока. При анализе пространственно-временной характеристики заносимости водотоков города твердыми бытовыми и строительными отходами выделены следующие основные положения.

Пик интенсивности поступления ТБО в водотоки наблюдается в мае – августе. Особенно это касается водотоков, расположенных в центральной части города. Такая закономерность связана, прежде всего, с тем, что на летние месяцы приходится максимальное количество туристов, посещающих исторические места в центре, а также высокая нагрузка на рекреационные зоны Санкт-Петербурга. Поступление строительных отходов в водотоки не связано с

сезонной изменчивостью и практически равномерно распределяется по всем месяцам. Общую характеристику заносимости водотоков за счет поступления в них твердых бытовых отходов и строительного мусора можно сформулировать следующим образом.

Основное поступление ТБО во все водотоки приходится на летние месяцы. Пространственное распределение поступления отходов следующее. ТБО поступают в водотоки в основном в верхнем и среднем течении. Строительные отходы попадают в водотоки в нижнем течении, где сосредоточены промышленные предприятия и ведется интенсивное строительство и реставрация зданий. Как показали исследования (РГГМУ, 2005), состав и мощность донных отложений водотоков, протекающих через исторический центр Санкт-Петербурга, в значительной степени зависит от антропогенной нагрузки, создаваемой наличием большого количества бытового мусора, попадающего на поверхность водотоков, часть которого осаждается на дно реки.

Основные места поступления бытового наплавного мусора – спуски к воде и мосты. Большое количество бытового и строительного мусора присутствует также в составе донных отложений в водотоках.

Характерные зоны скопления бытового мусора отмечаются в застойных зонах около стоянок прогулочных судов и на поворотах русел водотоков центральных районов города.

Также повсеместно зарегистрированы незначительные застойные зоны, способствующие аккумуляции наплавного мусора у крайних опор мостов, ниже по течению, у правого и левого берега.

Наплавной мусор поверхностного загрязнения по визуальной оценке на 70 – 80 % состоит из пластмассовой тары от пищевых продуктов, 10 – 15 % – алюминиевая тара, 5 % – бумага. Часть этого мусора выносится течением в Невскую губу, часть оседает на дне.

В процессе работ было выполнено обследование возможных мест захоронения строительного мусора. На момент обследования наиболее

угрожаемым, с точки зрения поступления строительных отходов, является среднее течение Крюкова канала. Это связано с разбором старых зданий и сооружением новой сцены Мариинского театра на их месте. Также отмечены обломки строительных лесов в устье канала Грибоедова. Подобные крупногабаритные и разнородные фрагменты различных типов и конструкций. Эти предметы весьма существенно снижают скорости придонных течений и, соответственно, увеличивают скорость осадконакопления.

В качестве еще одного из источников поступления наносов на акватории водотоков Санкт-Петербурга, можно указать проведение пескоструйных работ на набережных, мостах и других гидротехнических сооружениях.

Режим поступления твердого стока в верховья водной системы р.Фонтанки определяется стоком взвешенных наносов р.Невы. Реки, протекающие по территории бассейнов Онежского и Ладожского озер, имеют меньшую мутность, чем другие реки Российской Федерации, вследствие расположения их русел в устойчивых к размывам породах, значительной залесенности и заболоченности собственных водосборов, а также наличия естественных отстойников, какими являются Ладога и Онега.

Наблюдения за мутностью и расходом взвешенных наносов в Неве производились в 1948-50, 1952-56 и в 1958 гг. Среднее значение мутности за этот период составило 2.3 г/м^3 , тогда как максимальное значение достигало 15 г/м^3 .

Среднемноголетние значения мутности воды в р. Неве составляют 7 г/м^3 [12].

Сезонный ход взвешенных наносов имеет выраженные минимумы и максимумы. Минимальные расходы взвешенных наносов наблюдаются в феврале и в марте, при минимальном стоке воды. Ледяной покров в Шлиссельбургской губе исключает влияние ветра и волнения на взмучивание наносов и вынос их в Неву. Максимум расходов взвешенных наносов совпадает по времени с максимумом расходов воды и наблюдается в июне. Второй максимум наблюдается в октябре и по своим абсолютным значениям несколько

превосходит первый. Такой характер внутригодового распределения мутности воды и расходов взвешенных наносов связан с режимом ветров и выносом взмученных отложений в р.Неву. График среднемесячных значений мутности воды в р. Фонтанке[12] приведен на рисунке 3.2.

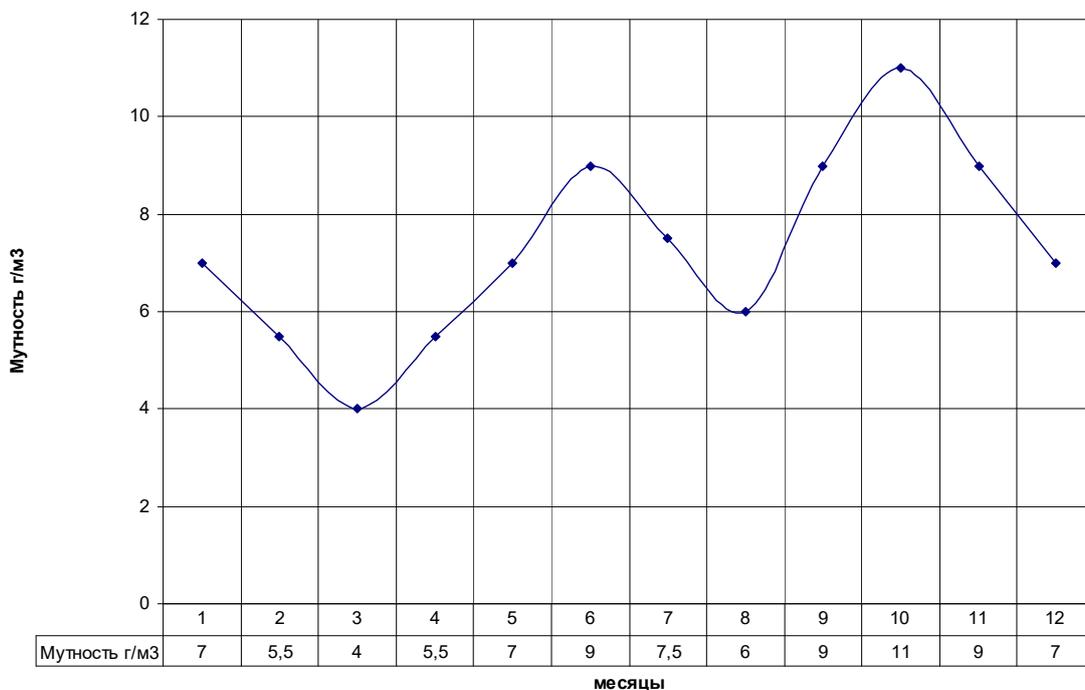


Рисунок 3.2– Среднемесячные значения мутности воды в истоке р.Фонтанки за многолетний период

Максимальные срочные значения мутности воды могут намного превышать средние значения. Так, по данным экспедиционных исследований РГГМУ в период осенних штормов мутность воды выше Ивановских порогов может возрастать до 250 мг/л.

Состав наносов, поступающих с невской водой в систему р. Фонтанки достаточно однороден. Процентное распределение фракций, полученное при анализе наносов, отобранных в истоке р. Фонтанки, приведено на рисунке 3.3.

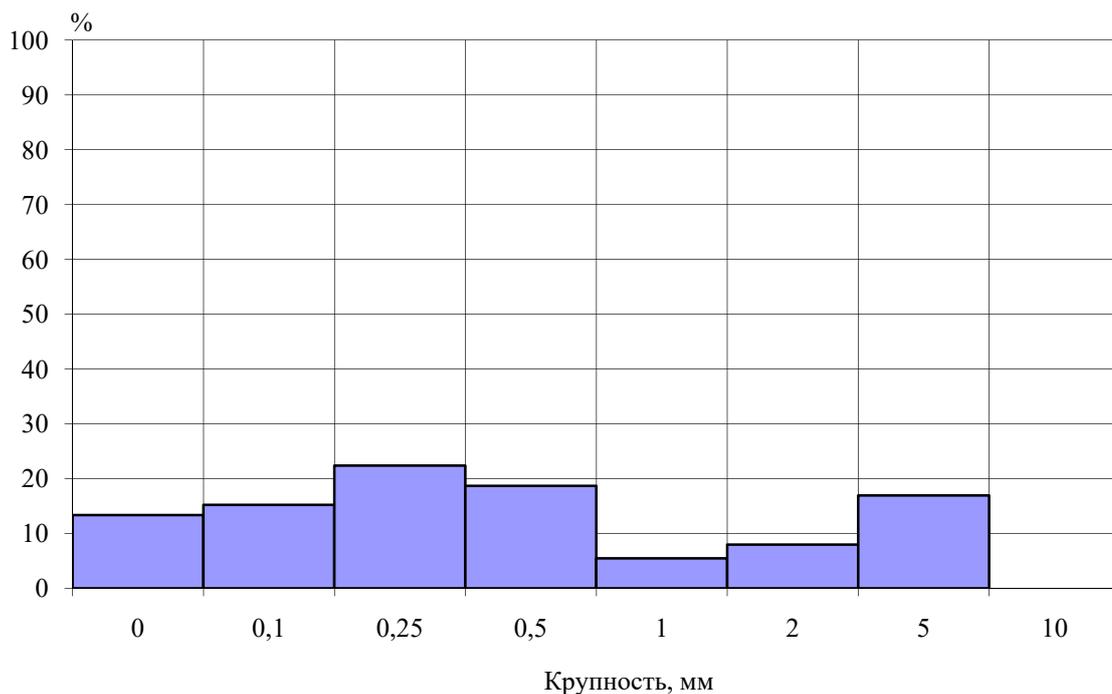


Рисунок 3.3– Гранулометрический состав наносов, поступающих в исток р. Фонтанки

3.2 Натурные исследования донных отложений р. Фонтанки

Определение мощности донных отложений выполнялось на 11 промерных створах. Поперечные профили створов с нанесенной мощностью донных наносов представлены на рисунках рис 3.4 - 3.14. На каждом створе была рассчитана суммарная мощность илистых отложений (m^2). Разделив полученную величину на ширину створа, получаем среднюю в створе толщину илов. Распределение толщины илов по длине реки приведено на рисунке 3.15.

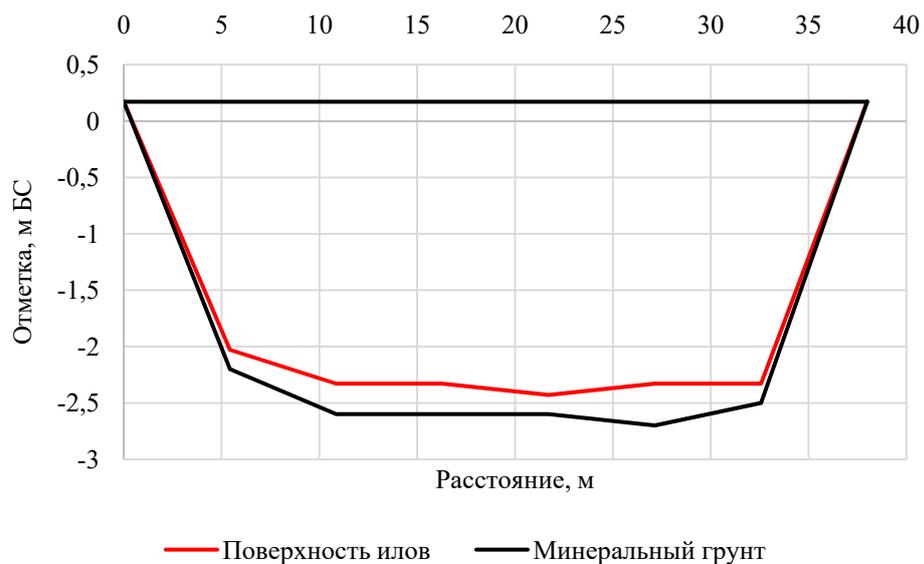


Рисунок 3.4 – Поперечный профиль р. Фонтанки, створ №1 (Прачечный мост)

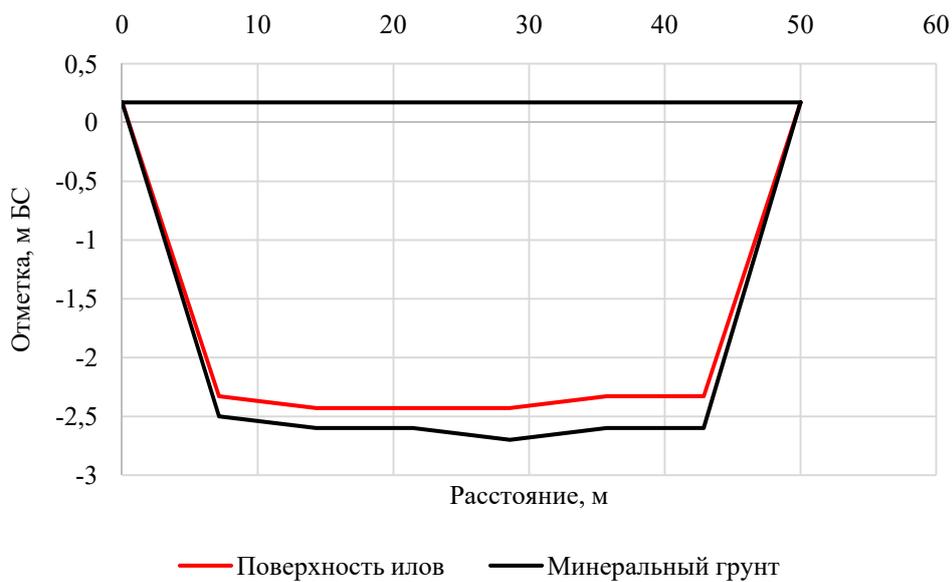


Рисунок 3.5 – Поперечный профиль р. Фонтанки, створ №2 (Пантелеймоновский мост)

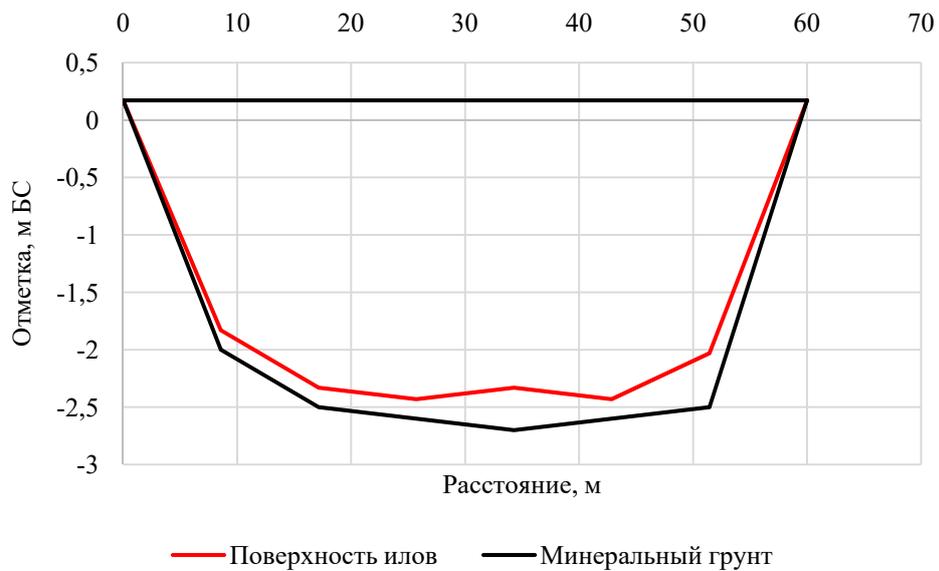


Рисунок 3.6 – Поперечный профиль р. Фонтанки, створ №3 (мост Белинского)

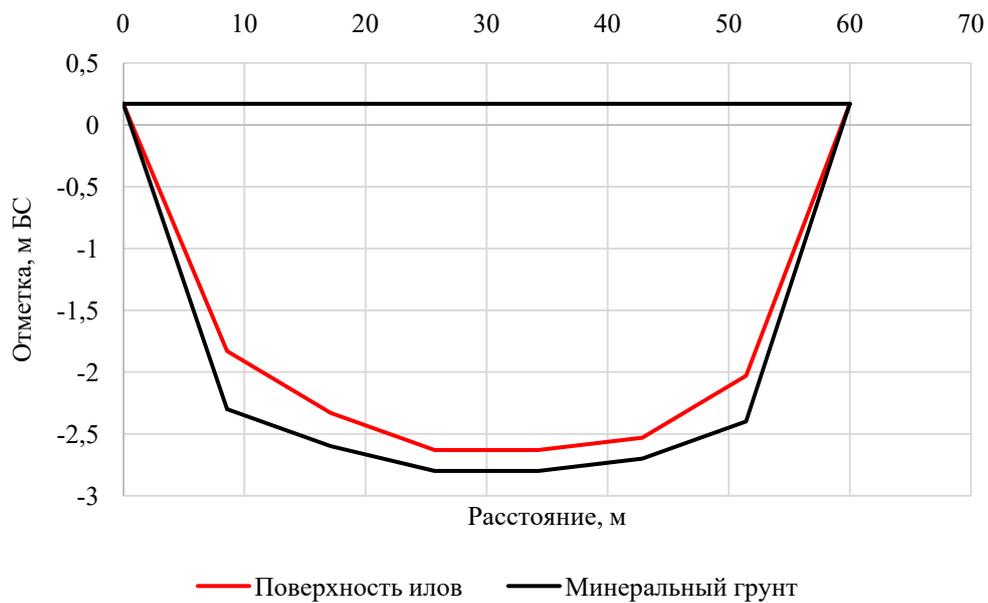


Рисунок 3.7 – Поперечный профиль р. Фонтанки, створ №4 (Ломоносовский мост)

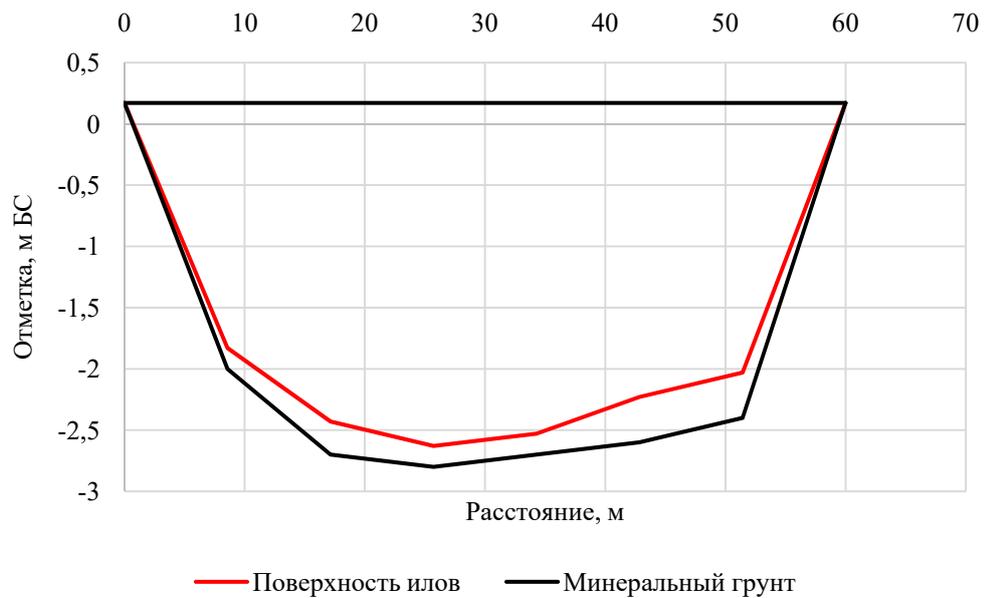


Рисунок 3.8 – Поперечный профиль р. Фонтанки, створ №5 (Лештуков мост)

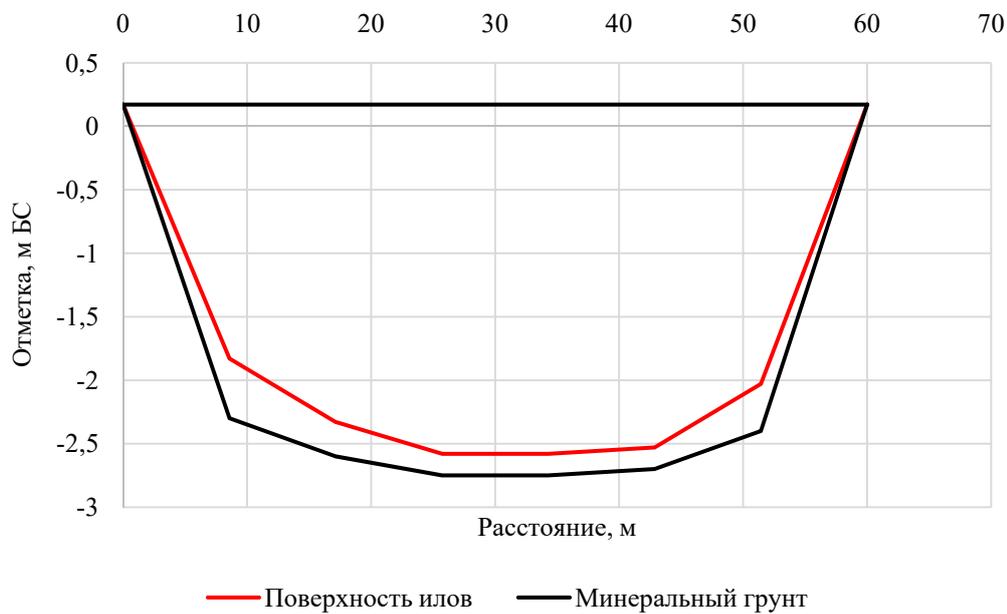


Рисунок 3.9 – Поперечный профиль р. Фонтанки, створ №6 (Горсткин мост)

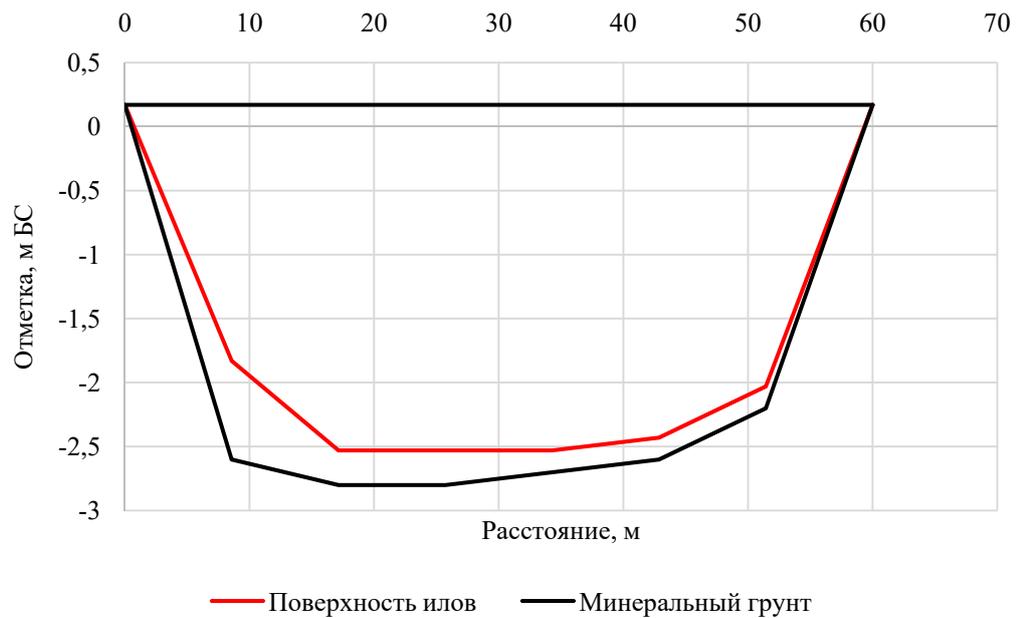


Рисунок 3.10 – Поперечный профиль р. Фонтанки, створ №7 (Обуховский мост)

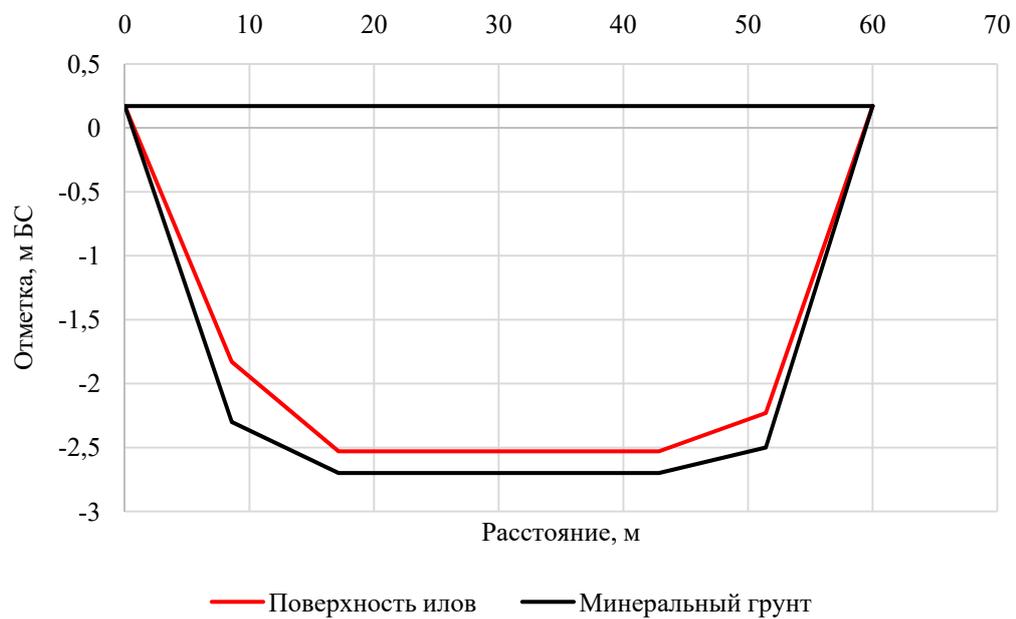


Рисунок 3.11 – Поперечный профиль р. Фонтанки, створ №8 (Красноармейский мост)

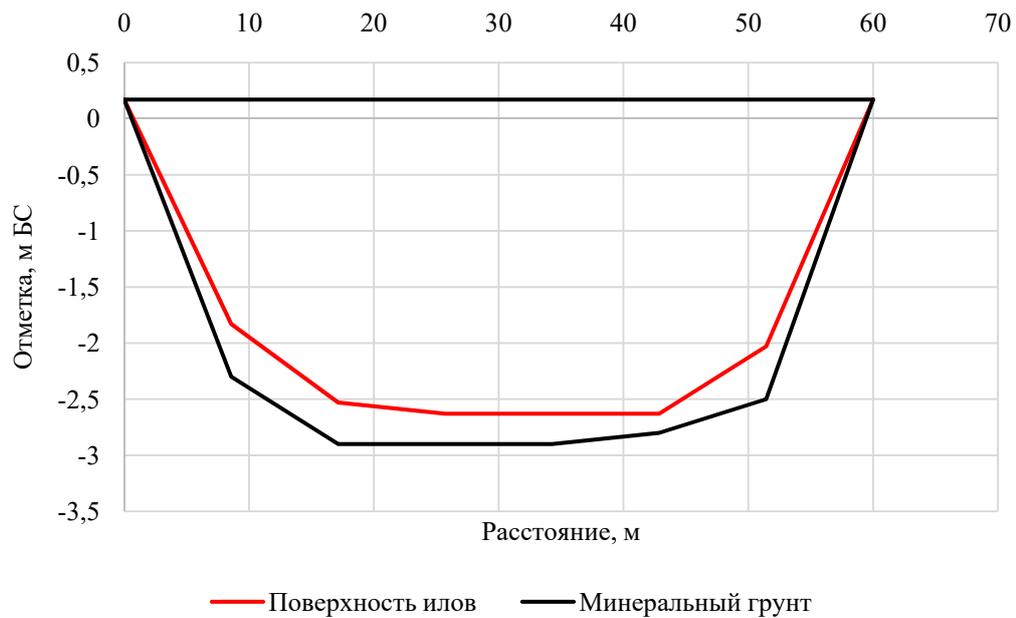


Рисунок 3.12 – Поперечный профиль р. Фонтанки, створ №9 (Египетский мост)

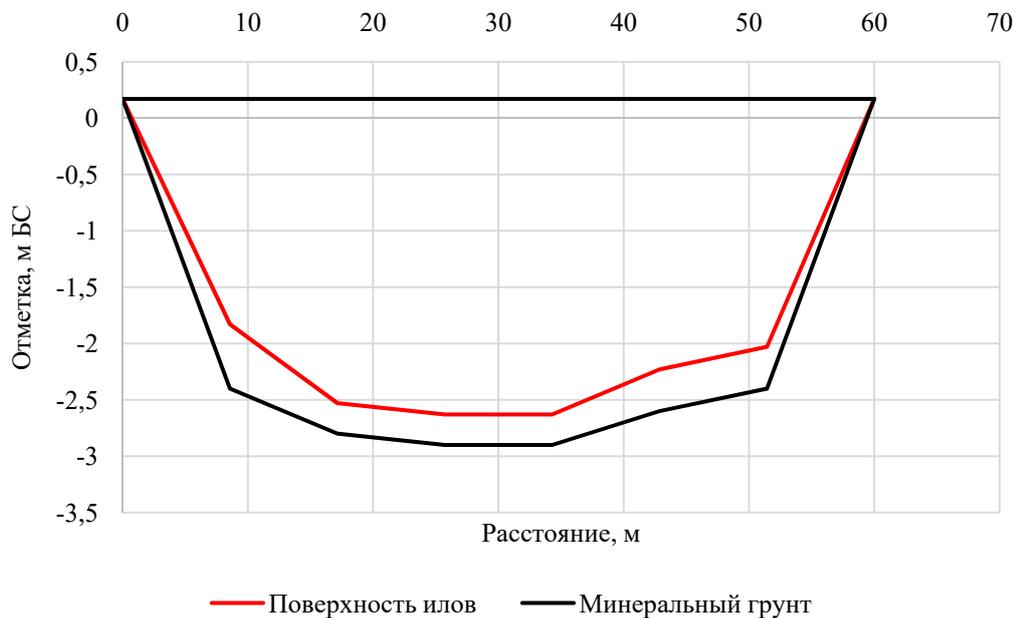


Рисунок 3.13 – Поперечный профиль р. Фонтанки, створ №10 (Английский мост)

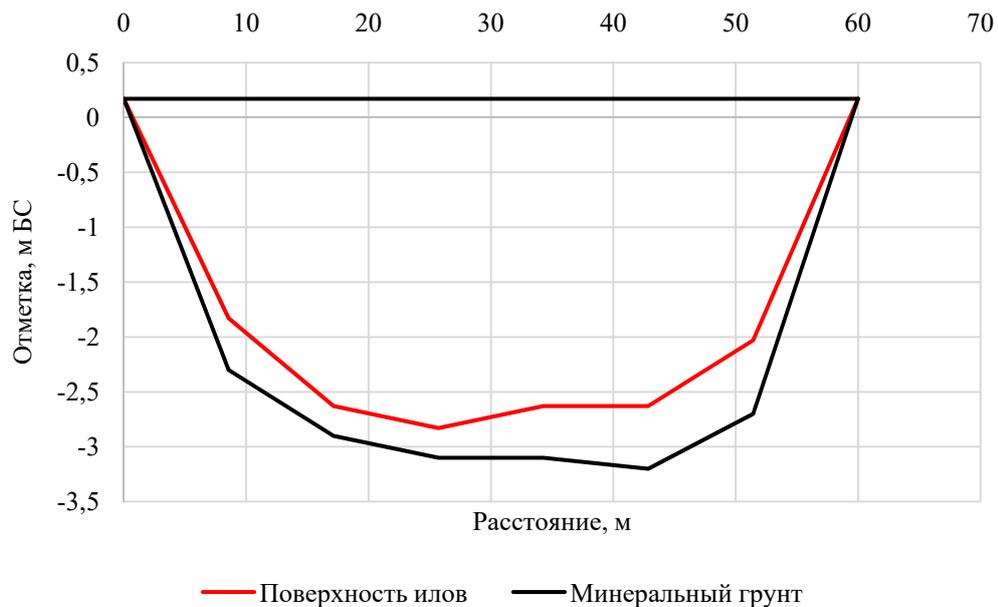


Рисунок 3.14 – Поперечный профиль р. Фонтанки, створ №11 (Старо-Калинкин мост)

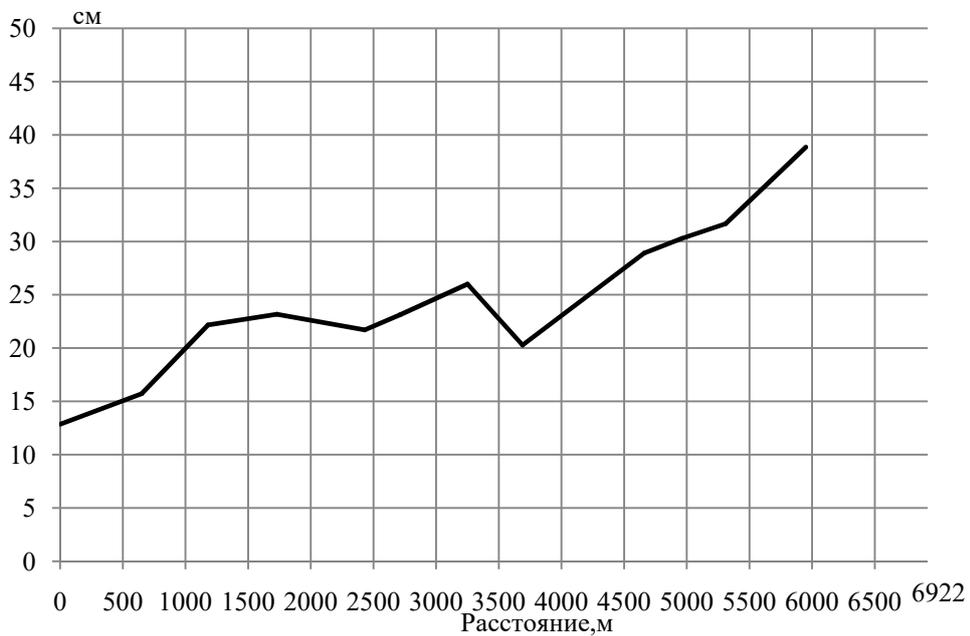


Рисунок 3.15– Распределение толщины илистых донных отложений по длине р. Фонтанка

Из графика на рисунке 3.15 видно, что толщина илов от истока к устью возрастает почти в 4 раза. При этом в верхнем и среднем течении р. Фонтанки наблюдается два небольших максимума, сменяемых локальным понижением толщины илистых отложений, вслед за которым происходит ее возрастание до устья. В истоке отложения представлены в основном песчаной фракцией аллювия. По мере приближения к устью происходит накопление илистой фракции. На устьевом участке толщина илов в среднем составляет 30-40 см. В средней части, историческом центре города, процессы осаждения наносов нарушены в период навигации, из-за интенсивного судоходства по Фонтанке.

В таблицах 3.1 и 3.2 приведено распределение в поперечном сечении исследуемых створов р. Фонтанка расхода взвешенных наносов и мутности воды. Данные измерений показывают, что наибольшая мутность соответствует наименьшим глубинам в поперечном сечении на исследуемом водном объекте. Относительная ширина представляет собой отношение расстояния от левого берега к общей ширине в поперечном створе. Такая запись позволяет сделать представление распределения измеренных величин в поперечных створах водотока более универсальным. Привести относительную ширину к реальным значениям можно умножив таковую на общую ширину русла в поперечном створе. Расход взвешенных наносов рассчитан в результате перемножения мутности воды на расход воды.

Вдоль русла реки мутность воды в водотоке меняется крайне незначительно и находится в пределах точности измерения (табл. 3.2). Это объясняется относительно равномерной гидродинамикой водотока и отсутствием судоходства на момент проведения измерений. В периоды половодий и паводков мутность воды будет более значительной и ее значения увеличатся на один-два порядка.

Таблица 3.1 – Распределение в поперечном сечении расхода взвешенных наносов, г/с

N	В, м	Относительная ширина, б/р								Створ
		0	0.1	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9	1	
1	38	0	112.9	93.2	93.2	87.9	93.2	93.2	0	Фонтанка - Прачечный мост
2	50	0	124.2	117.1	117.1	117.1	124.2	124.2	0	Фонтанка - Пантелеймоновский мост
3	60	0	142.5	102	96.1	102	96.1	123.5	0	Фонтанка - мост Белинского
4	60	0	164.7	99.4	99.4	99.4	125.3	142.8	0	Фонтанка - Аничков мост
5	60	0	158.1	113.1	95.4	95.4	100.8	137	0	Фонтанка - мост Ломоносова
6	60	0	185	124.8	111.7	117.9	140.7	160.4	0	Фонтанка - Лештуков мост
7	60	0	156	111.6	96.8	96.8	99.5	135.2	0	Фонтанка - Горсткин мост
8	60	0	148.2	94.5	94.5	94.5	100	128.4	0	Фонтанка - Обуховский мост
9	60	0	132.5	84.5	84.5	84.5	84.5	100.8	0	Фонтанка - Красноармейский мост
10	60	0	118.8	75.7	71.7	71.7	71.7	102.9	0	Фонтанка - Египетский мост
11	60	0	103.9	66.2	62.7	62.7	79	90	0	Фонтанка - Английский мост
12	60	0	115.1	69.5	62.6	69.5	69.5	99.8	0	Фонтанка - Старо - Калинин мост

Таблица 4.4 – Распределение в поперечном сечении мутности воды, г/м³

N	В, м	Относительная ширина, б/р								Створ
		0	0.1	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9	1	
1	38	0	28.1	23.2	23.2	21.9	23.2	23.2	0	Фонтанка - Прачечный мост
2	50	0	30.3	28.6	28.6	28.6	30.3	30.3	0	Фонтанка - Пантелеймоновский мост
3	60	0	40.9	29.3	27.6	29.3	27.6	35.5	0	Фонтанка - мост Белинского
4	60	0	43.7	26.4	26.4	26.4	33.3	37.9	0	Фонтанка - Аничков мост
5	60	0	44.5	31.9	26.9	26.9	28.4	38.6	0	Фонтанка - мост Ломоносова
6	60	0	48.9	33	29.5	31.2	37.2	42.4	0	Фонтанка - Лештуков мост
7	60	0	41.8	29.9	25.9	25.9	26.6	36.2	0	Фонтанка - Горсткин мост
8	60	0	37.2	23.7	23.7	23.7	25.1	32.2	0	Фонтанка - Обуховский мост
9	60	0	38.8	24.7	24.7	24.7	24.7	29.5	0	Фонтанка - Красноармейский мост
10	60	0	32.8	20.9	19.8	19.8	19.8	28.5	0	Фонтанка - Египетский мост
11	60	0	29.3	18.7	17.7	17.7	22.3	25.4	0	Фонтанка - Английский мост
12	60	0	30.6	18.4	16.6	18.4	18.4	26.5	0	Фонтанка - Старо - Калинин мост

Исследования донных отложений производились на 7 створах, расположенных в направлении от устья к истоку: Фонтанка-1 (Старо-Калинкин мост), Фонтанка-2 (Английский мост), Фонтанка-3 (Красноармейский мост), Фонтанка-4 (Горсткин мост), Фонтанка-5 (Ломоносовский мост), Фонтанка-6 (мост Белинского), Фонтанка-7 (Пантелеймоновский мост).

Сведения о гранулометрическом составе донных отложений водотока приведены в сводной таблице 3.3. а также на рисунке 3.16.

Таблица 3.3 – Выделение типов донных отложений по результатам гранулометрического анализа

№ образца	Название образца	галька	гравий			песок			пыль		ил		глина	Наименование грунта
		>10 мм	крупный	средний	мелкий	крупный	средний	мелкий	крупная	мелкая	крупный	мелкий	<0.001 мм	
			10-5 мм	5-2 мм	2-1 мм	1-0.5 мм	0.5-0.2 мм	0.2-0.1 мм	0.1-0.05 мм	0.05-0.02 мм	0.01-0.005 мм	0.005-0.001 мм		
1	Фонтанка-1	6.7	7.0	2.4	2.5	4.9	17.5	54.2	-	-	-	-	-	Песок средне-мелкий
2	Фонтанка-2	0.0	1.9	1.6	1.9	3.1	19.3	66.7	-	-	-	-	-	Песок средне-мелкий
3	Фонтанка-3	5.7	1.1	1.3	2.2	9.1	26.6	26.2	19.72	5.40	0.77	0.25	0.00	Песок пылеватый
4	Фонтанка-4	0.0	0.8	0.6	1.2	3.1	5.4	47.8	27.39	6.37	1.50	1.00	0.02	Мелкий песок пылеватый
5	Фонтанка-5	0.8	0.6	0.4	0.6	0.8	7.9	22.9	41.93	14.18	4.92	2.52	0.02	Крупная пыль опесчаненная
6	Фонтанка-6	3.1	2.9	7.4	5.1	11.7	33.3	18.0	14.32	4.42	0.63	0.21	0.00	Песок мелко-средний
7	Фонтанка-7	0.0	16.7	7.8	5.4	18.4	22.0	15.0	11.51	2.46	0.35	0.11	0.00	Песок гравелистый

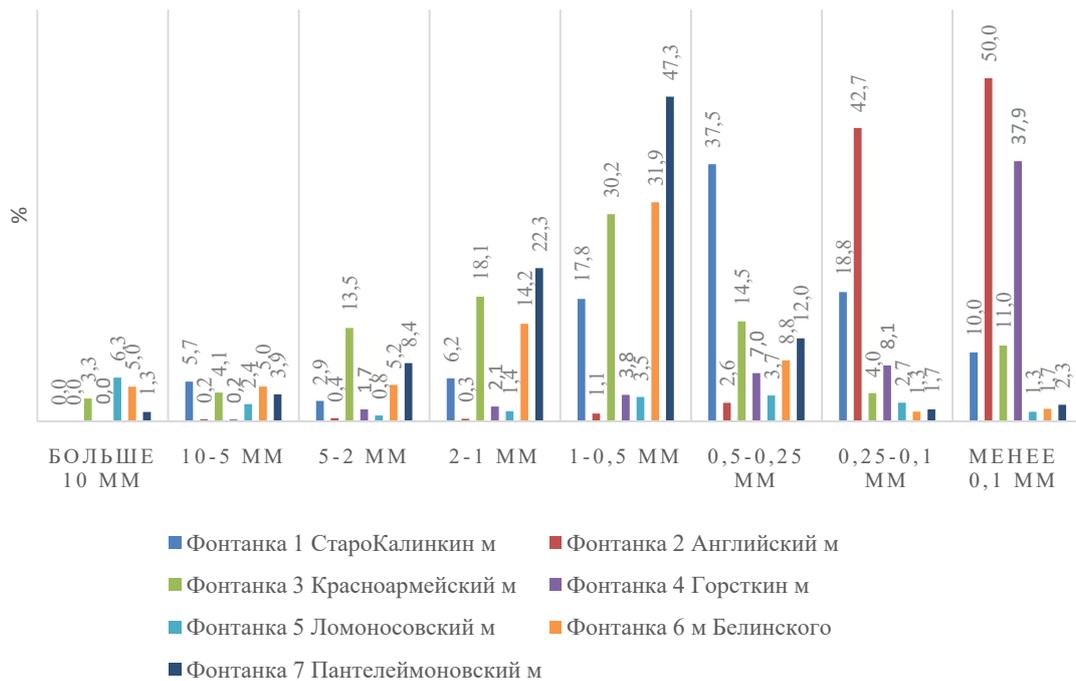


Рисунок 3.16 – Процентное содержание частиц донных отложений различной крупности и диаметры частиц различной обеспеченности крупности наносов р. Фонтанка

По данным о гранулометрическом составе были построены интегральные кривые гранулометрического состава донных отложений (рис. 3.17 – 3.23).

Графическое изображение результатов гранулометрического анализа донных отложений характеризует постепенное нарастание объема пробы по мере увеличения диаметра частиц. При построении этих кривых на оси абсцисс откладываются диаметры частиц, а на оси ординат – сумма процентов частиц (по отношению к объему всей пробы) меньше тех или иных величин диаметров, отложенных на горизонтальной оси. Кривые гранулометрического состава дают представление о механическом составе донных отложений водотока, степени его однородности и соотношении фракций различных диаметров. Данные кривые используются для установления величины действующего средневзвешенного диаметра, коэффициента неоднородности (или сортированности) донных отложений и дают иллюстративное представление о

размерном составе пробы для возможности сравнения с аналогичными пробами на данном водотоке.

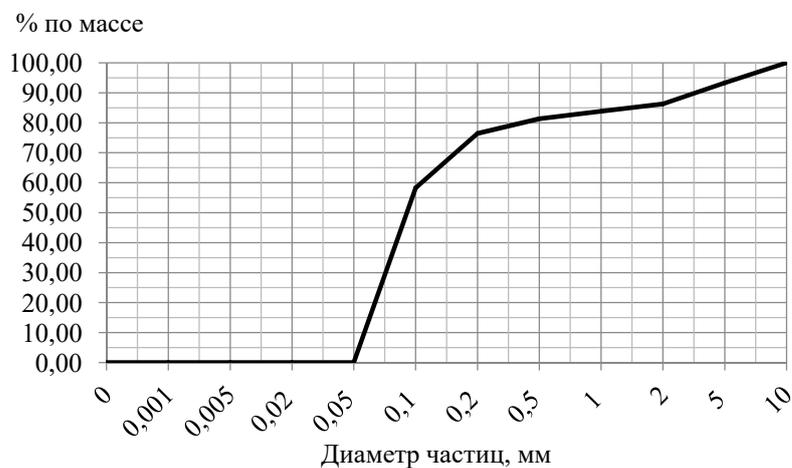


Рисунок 3.17 –Интегральная кривая гранулометрического состава донных отложений (Фонтанка-1)

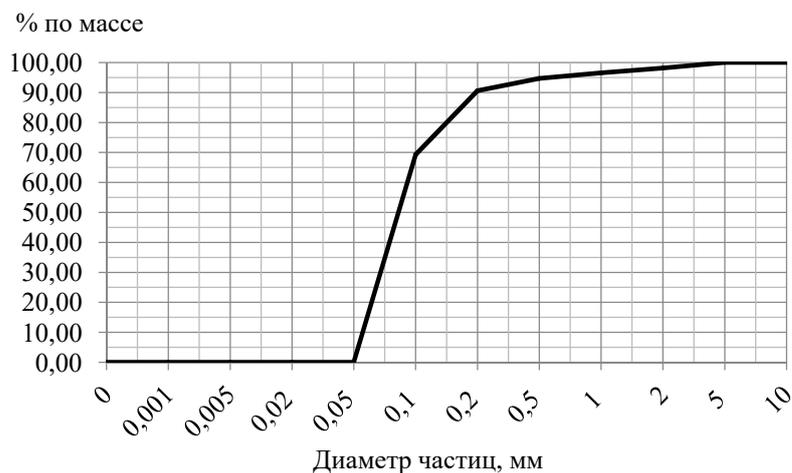


Рисунок 3.18 –Интегральная кривая гранулометрического состава донных отложений (Фонтанка-2)

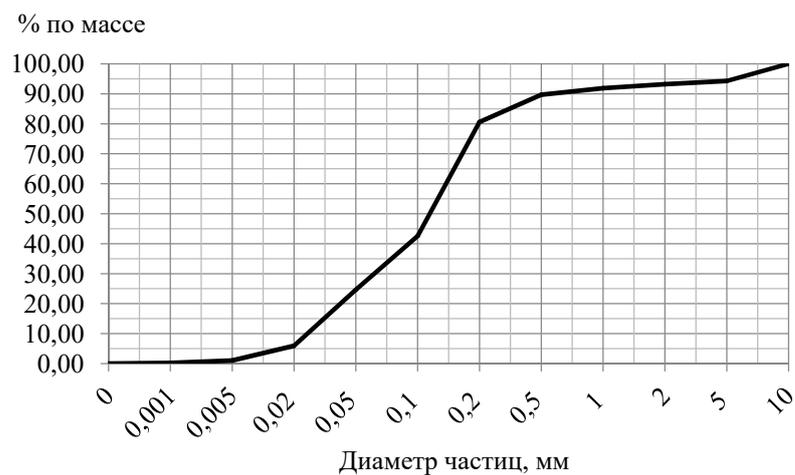


Рисунок 3.19 –Интегральная кривая гранулометрического состава донных отложений (Фонтанка-3)

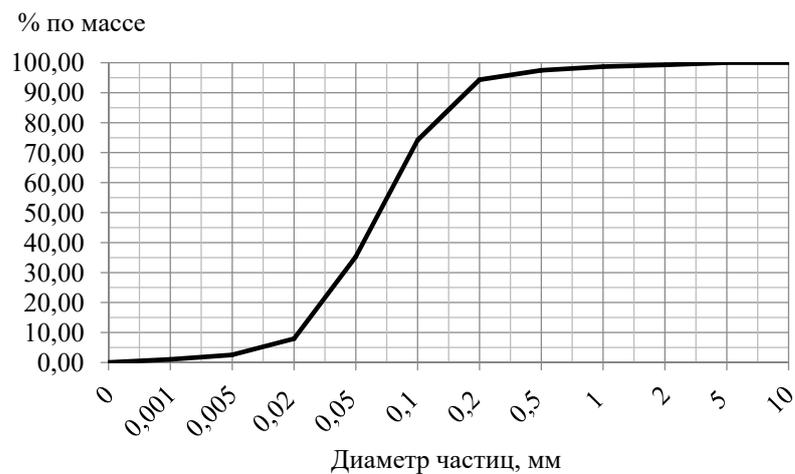


Рисунок 3.20 –Интегральная кривая гранулометрического состава донных отложений (Фонтанка-4)

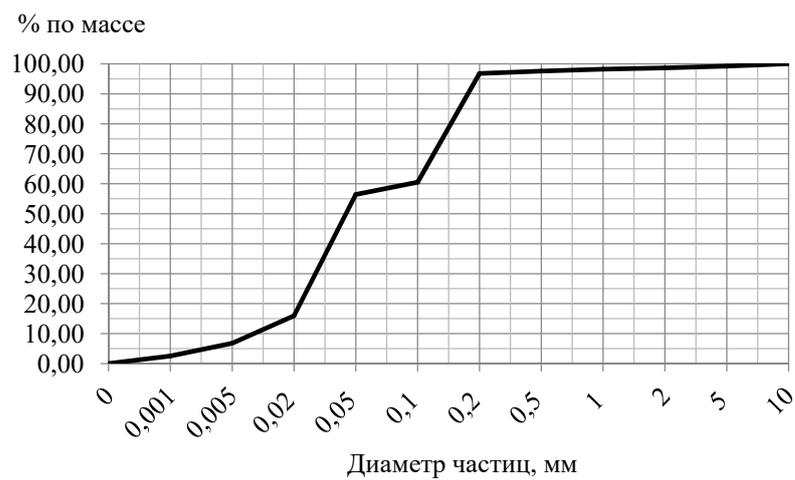


Рисунок 3.21 –Интегральная кривая гранулометрического состава донных отложений (Фонтанка-5)

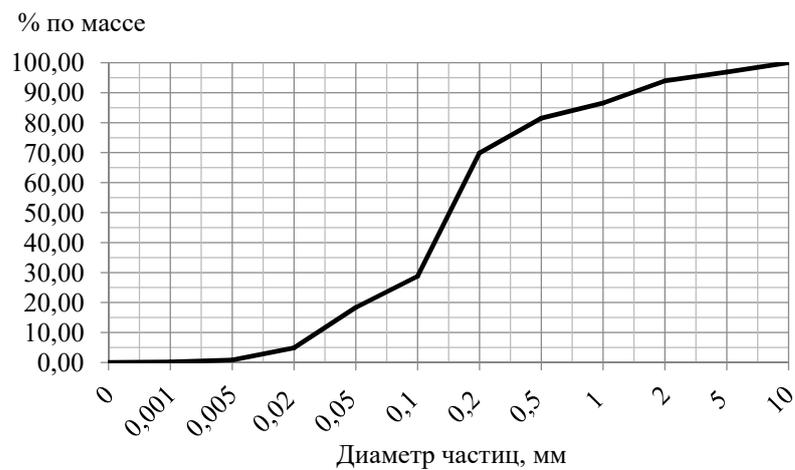


Рисунок 3.22 –Интегральная кривая гранулометрического состава донных отложений (Фонтанка-6)

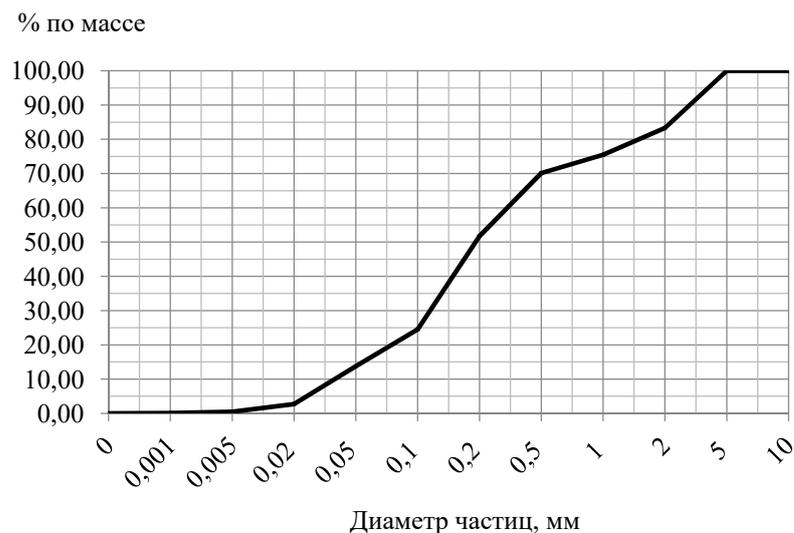


Рисунок 3.23 –Интегральная кривая гранулометрического состава донных отложений (Фонтанка-7)

Полученные графики позволили выполнить определение гранулометрических параметров d_5 , d_{10} , d_{25} , d_{50} , d_{75} , d_{90} , d_{95} , где индекс при d показывает, какой процент частиц меньше данного диаметра содержится в составе рассматриваемой пробы донных отложений. По соотношению параметров интегральных кривых, характеризующих крупнозернистую и мелкозернистую части донных отложений, были вычислены показатели степени неоднородности (сортированности) проб. В данном случае применялся коэффициент сортировки, определяемый как отношение d_{95}/d_5 . Результаты обработки приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Гранулометрические параметры проб донных отложений р. Фонтанка.

Проба	d_{cp}	d_5	d_{10}	d_{25}	d_{50}	d_{75}	d_{90}	d_{95}	Коэффициент сортировки
Фонтанка-1	1.5	0.05	0.06	0.075	0.09	0.2	3.5	6.5	130.0
Фонтанка-2	0.2	0.055	0.06	0.065	0.085	0.13	0.2	0.5	9.1
Фонтанка-3	0.9	0.02	0.025	0.05	0.12	0.18	0.7	5.0	250.0
Фонтанка-4	0.1	0.012	0.025	0.03	0.07	0.1	0.18	0.25	20.8
Фонтанка-5	0.1	0.003	0.011	0.025	0.04	0.14	0.18	0.2	66.7
Фонтанка-6	0.8	0.02	0.034	0.014	0.15	0.35	1.5	3.2	160.0
Фонтанка-7	1.2	0.027	0.04	0.1	0.2	1.0	3.3	4.0	148.1

Как видно из проведенного анализа, донные отложения р.Фонтанки являются неоднородными, при этом коэффициент сортировки изменяется в значительном диапазоне от 9 до 250 без каких-либо закономерностей. При этом крупность частиц представлена во всем диапазоне характерных размеров со средневзвешенными размерами соответствующими всем диапазонам песчаных фракций.

По результатам гранулометрического анализа донных проб в пределах р. Фонтанки выделяются следующие типы донных отложений [13]: песок гравелистый, песок мелко-средний, песок средне-мелкий, песок пылеватый, песок мелкий пылеватый, пыль крупная опесчаненая.

Ниже приводятся общие свойства этих донных отложений.

Песок гравелистый: песчаный осадок с примесями гравия и дресвы, редко – щебня и пылеватых частиц (алеурита); осадок обычно желто- и оранжево-

серый, мягкий и рассыпчатый, плохо промытый; состав гранитный с примесью шлака; происхождение существенно антропогенное.

Песок мелко-средний: состоит из мелких и средних песчаных зерен с существенной примесью крупного песка, небольшими примесями дресвы, гравия, гальки, щебня, иногда – с примесью пылеватых частиц; цвет желто-серый, присутствие примеси пылеватых частиц определяет плохую промытость и некоторую связность осадка; состав полимиктовый; происхождение аллювиальное и антропогенное.

Песок средне-мелкий: осадок состоит из мелких и средних песчаных зерен с резким преобладанием мелкозернистого песка, с небольшими примесями крупных песчаных зерен, дресвы, гравия, гальки, щебня; цвет желто-серый, состав полимиктовый; консистенция рассыпчатая, промытость плохая и средняя; происхождение в основном аллювиальное с примесью антропогенного материала.

Песок пылеватый: осадок состоит из мелких, средних, крупных песчаных частиц с существенной примесью пылеватых (алевритовых) частиц, с небольшими примесями гравия, дресвы; цвет желто- и коричнево-серый, консистенция связная, мягкая; происхождение существенно аллювиальное.

Песок мелкий пылеватый: состоит из мелких песчаных зерен, крупной пыли (алеврита), имеет примеси мелкой пыли, среднего и крупного песка, иногда – гравия и гальки; цвет коричнево-серый, желто-серый, серый, консистенция связная мягкая, существенная обводненность; происхождение существенно антропогенное и аллювиальное.

Пыль крупная опесчаненая: состоит из крупнопылеватых, мелкопесчаных частиц с примесью мелкопылеватых, илистых, средне- и крупнопесчаных частиц, иногда с небольшой примесью гравия; цвет серый, темно-серый, консистенция мягкая вязкая, обводненность высокая; происхождение существенно аллювиальное.

Схема распространения донных отложений по дну реки Фонтанки показана на рисунке 3.24.

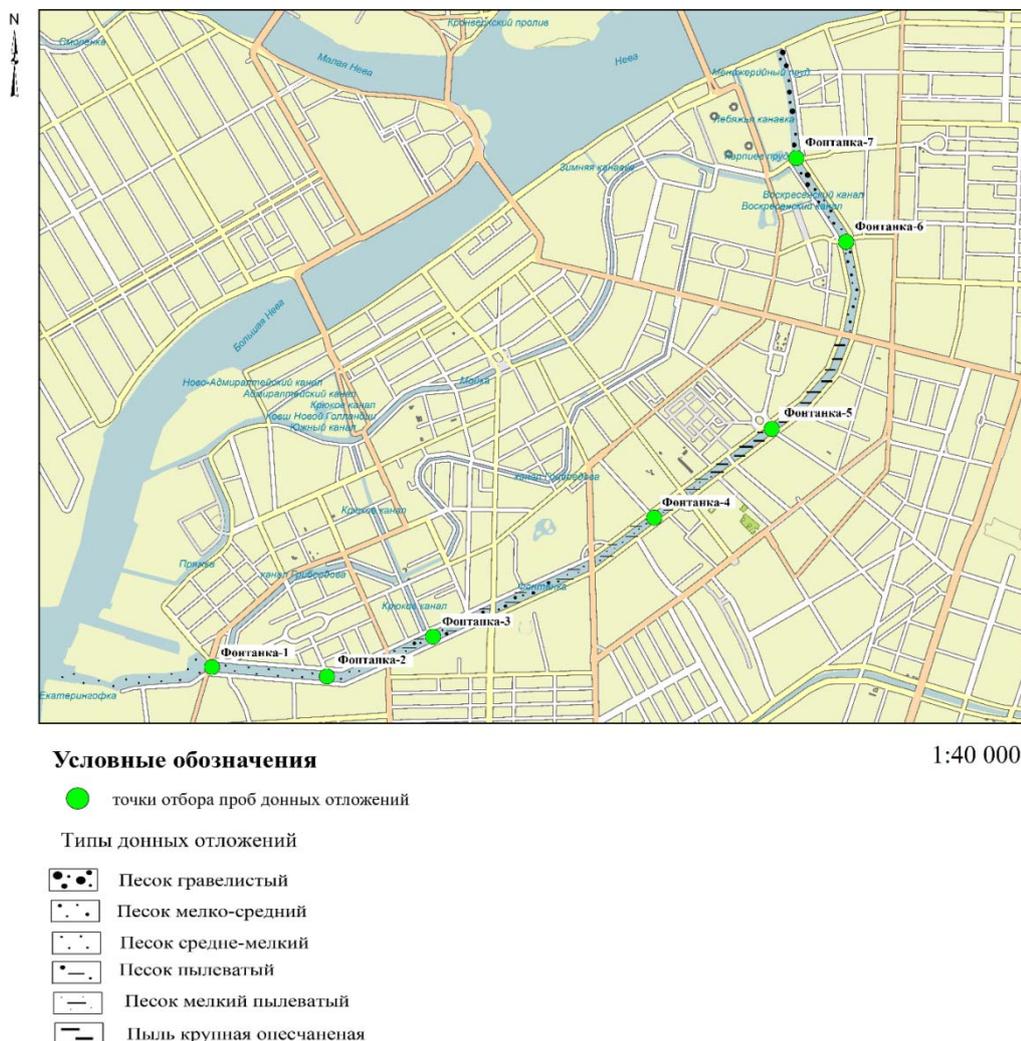
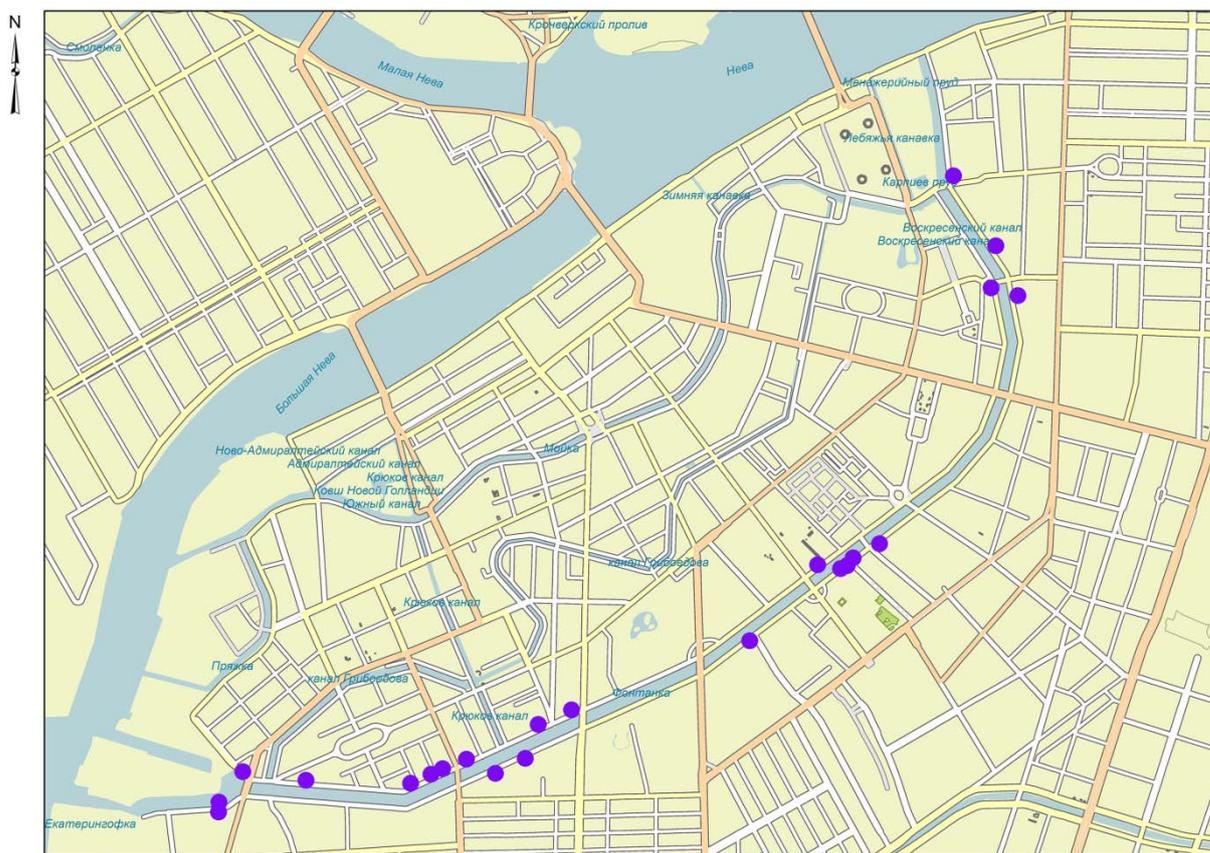


Рисунок 3.24 –Схема распространения донных отложений по дну р. Фонтанки

Общий характер распространения разных типов донных отложений по дну реки Фонтанки весьма сложен. У истока из р. Невы фиксируется зона распространения гравелистых песков, сменяемых ниже по течению песками мелко-средними. Далее в среднем течении последовательно друг друга сменяют пыль крупная опесчаная, песок мелкий пылеватый, песок пылеватый. В нижнем течении р. Фонтанки распространен песок средне-мелкий.

Вероятно, в верхнем течении гравелистые и мелко-средние пески могли быть занесены в русло р. Фонтанки относительно сильным течением р. Невы; в этом случае данный осадок представляет собой часть аллювиальных отложений р. Невы. Далее до середины течения р. Фонтанки осадок последовательно уменьшается по крупности (песок гравелистый – песок мелко-средний – пыль крупная опесчаненая, что может говорить об уменьшении скорости течения при удалении от р. Невы. Далее вниз по течению р. Фонтанки крупность осадка снова последовательно увеличивается от песка мелкого пылеватого к песку пылеватому и далее к песку средне-мелкому, что может говорить как о более интенсивном береговом сносе песчаных частиц в нижнем течении р. Фонтанки, так и об изменениях литодинамического режима.

Согласно схеме на рисунке 3.25 на всем протяжении р. Фонтанки имеются 56 ливнеспусков Водоканала общим годовым объемом 49.056 тыс. м³ (данные Комитета по Природопользованию). Этот объем не настолько велик, чтобы существенно повлиять на происхождение донных отложений в р. Фонтанке, скорее всего, твердые частицы, приносимые этими ливнеспусками имеют лишь локальное влияние (оценочные расчеты – менее 1 мм/год).



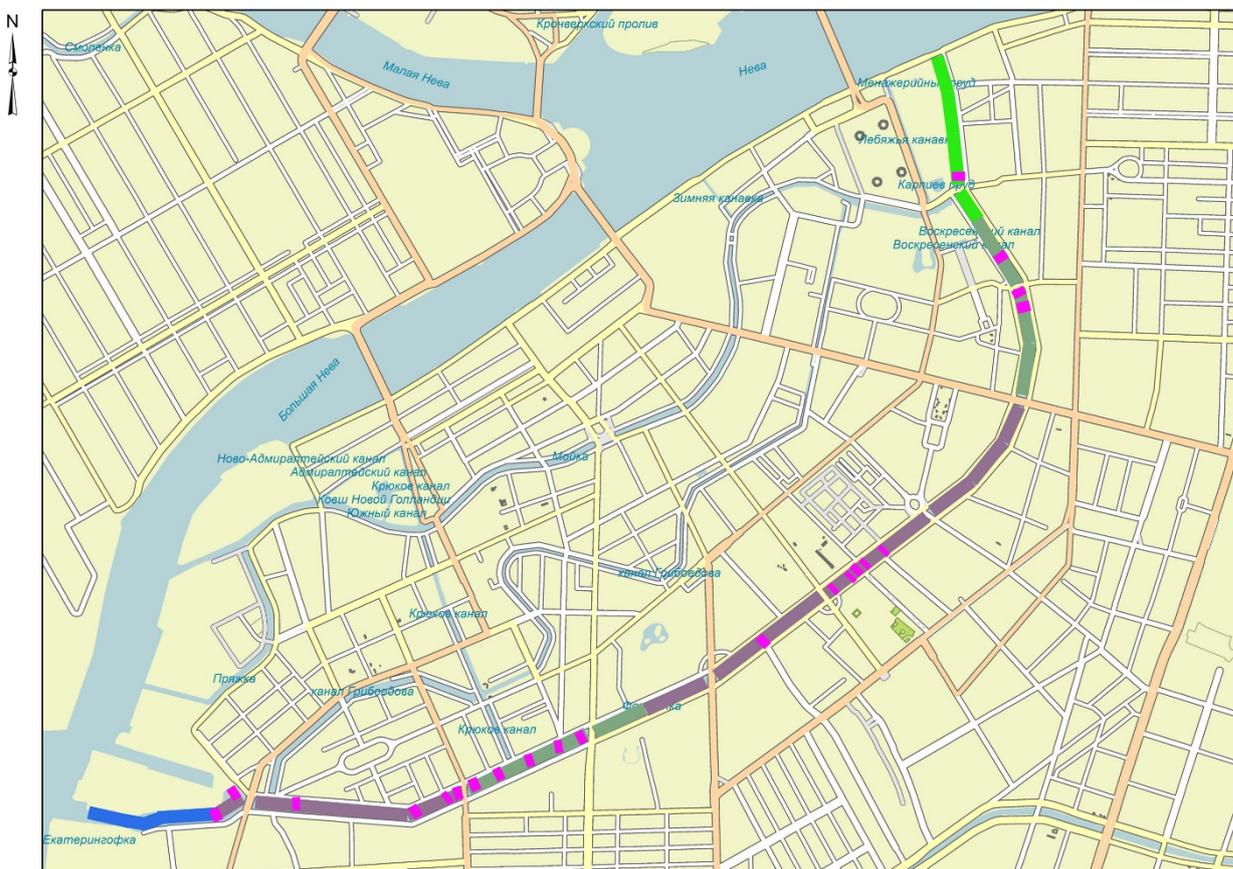
1:40 000

Условные обозначения

- ливнеспуски

Рисунок 3.25 – Расположение водоспусков на р. Фонтанке

На основании данных по положению и типу берегов, составу донных отложений, наличию и положению водоспусков и др., была составлена схема происхождения донных отложений р. Фонтанка (рисунок 3.26). На этой схеме видно, что в верхнем течении р. Фонтанки в происхождении ее отложений существенную роль играет течение р. Невы, заносящей в русло р. Фонтанки свой аллювий в виде гравелистого песка. Этот аллювий разбавлен частицами диффузного сноса и техногенными частицами, что дает техногенно-диффузно-аллювиальный тип происхождения отложений, несколько осложняемый малым количеством твердых частиц, осаждаемых из единичного ливнеспуска.



Условные обозначения

1:40 000

Происхождение донных отложений:

- техногенно-диффузно-аллювиальное
- техногенно-аллювиально-диффузный
- диффузно-аллювиальное
- эрозионно-диффузно-аллювиальное
- наложение отложений точечных водоспусков

Рисунок 3.26 – Схема происхождения донных отложений на р. Фонтанке

Ниже по течению расположен участок, на котором основная масса осадка (песок мелко-средний техногенно-аллювиально-диффузный) имеет диффузное и техногенное происхождение, с примесью частиц аллювия. Здесь также локальное влияние могут оказывать три присутствующих ливнепуска.

Еще ниже, в среднем течении р. Фонтанки, имеет место участок с распространением пыли крупной опесчаненной и, ниже по течению, песка мелкого пылеватого. Оба эти типа осадка объединены одним происхождением

– диффузно-аллювиальным, при котором основная масса осадка является аллювием с примесью частиц, привнесенных диффузным сносом. Не менее шести ливнеспусков приносят свою долю частиц в донный осадок на этом участке.

Далее вниз по течению по дну распространен песок пылеватый техногенно-аллювиально-диффузный, в котором, как и на схожем участке выше по течению, основной осадок образовался за счет частиц диффузного происхождения, которые вместе с техногенными частицами наложились на аллювиальные отложения. Пять ливнеспусков могут отлагать свои твердые частицы, разбавляя осадок в непосредственной близости от своего расположения.

Далее расположен участок средне-мелких песков диффузно-аллювиального происхождения, в которых большую часть составляет аллювий, а меньшую – частицы диффузного стока. Шесть ливнеспусков могут добавлять переносимые ими твердые частицы в осадок в непосредственной близости от себя.

Приустьевой участок р. Фонтанки характерен накоплением средне-мелких песков эрозионно- диффузно-аллювиального происхождения, то есть здесь добавляются твердые частицы с правого грунтового берега реки, который здесь имеет уклон до 40° и подвержен плоскостной эрозии.

В целом донные отложения р. Фонтанки представлены в основном пылевато-песчанистыми осадками аллювиального происхождения, в которые в том, или ином объеме добавлены отложения диффузного сноса, техногенеза, береговой эрозии и, в небольшой степени, локальными участками – точечных ливнеспусков.

Определение динамики поступления наносов в водоток производилось на основе анализа изменения мутности воды по длине водотока. График распределения мутности воды приведен на рисунке 3.27.

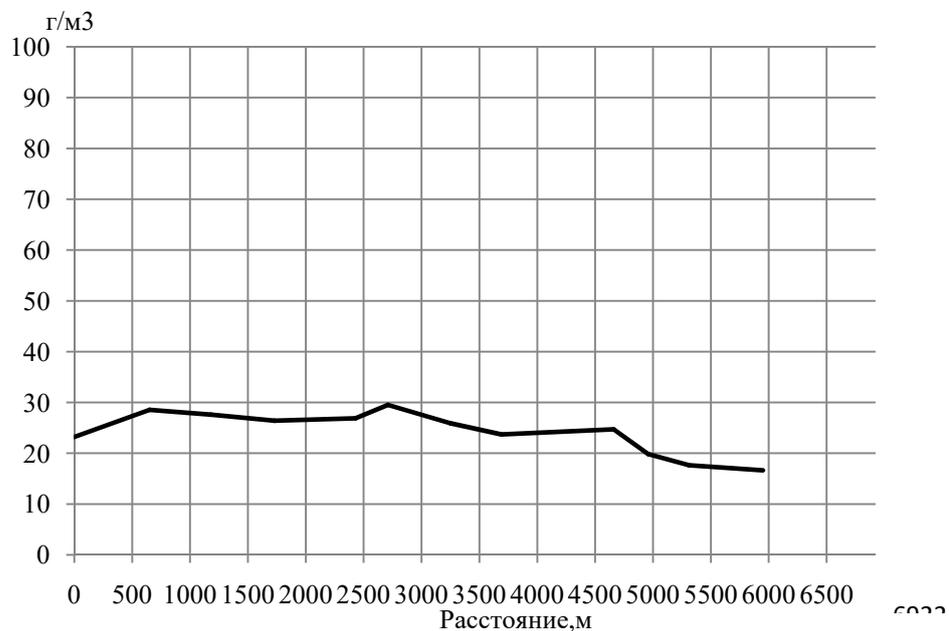


Рисунок 3.27 – Распределение мутности по длине р. Фонтанки

Характер изменения мутности воды по длине Фонтанки в целом говорит о наличии процессов их осаждения по длине, что соответствует характеру накопления илов. Некоторое увеличение мутности в среднем течении объясняется интенсивным судоходством на этом участке.

3.3 Методика расчета занесения р. Фонтанки

В гидрологическом отношении реки и каналы Санкт-Петербурга малоизучены. На данных водных объектах отсутствуют посты режимных наблюдений как за жидким, так и за твердым стоком.

Донные отложения водотоков Санкт-Петербурга являются сложными, как по происхождению, так и по составу и времени накопления.

В литологическом отношении донные отложения рек и водотоков Санкт-Петербурга представлены разнообразными гранулометрическими типами осадков: от гравийных до глинистых.

Донные осадки рек, расположенных в пределах центральных частей Санкт-Петербурга, в гранулометрическом отношении характеризуется более тонким составом. Так, предшествующий анализ физико-механических свойств донных отложений р. Фонтанки показал, что в поверхностном слое донных отложениях преобладающими являются фракции тонко-мелкозернистых, алевролитистых и алевроитовых песков.

В 2004-2006 гг. на водотоках Санкт-Петербурга, в том числе и на р. Фонтанке, производились дноуглубительные работы с целью оценки заносимости данных водотоков.

Скорость заносимости определяется как отношение разности измеренной мощности донных отложений и объема изъятых во время последней дноочистки грунта к количеству лет, прошедших со времени последней дноочистки.

При отсутствии данных об изъятых объемах грунта во время последней дноочистки, скорость заносимости рассчитывается как отношение мощности

донных отложений к количеству лет, прошедших со времени последней дноочистки.

При отсутствии данных о времени последней дноочистки скорость заносимости можно оценить только по аналогии с похожими водоемами.

Переход от объемов изъятых во время дноочистки объемов грунтов к слою происходит в результате деления объема на произведение средней ширины и длины водотока.

При помощи программного обеспечения HEC-RAS был смоделирован процесс занесения р. Фонтанки в течение года. Схема расположения постов представлена на рисунке 3.28. По результатам моделирования были построены поперечные профили (рис. 3.29 - 3.39).

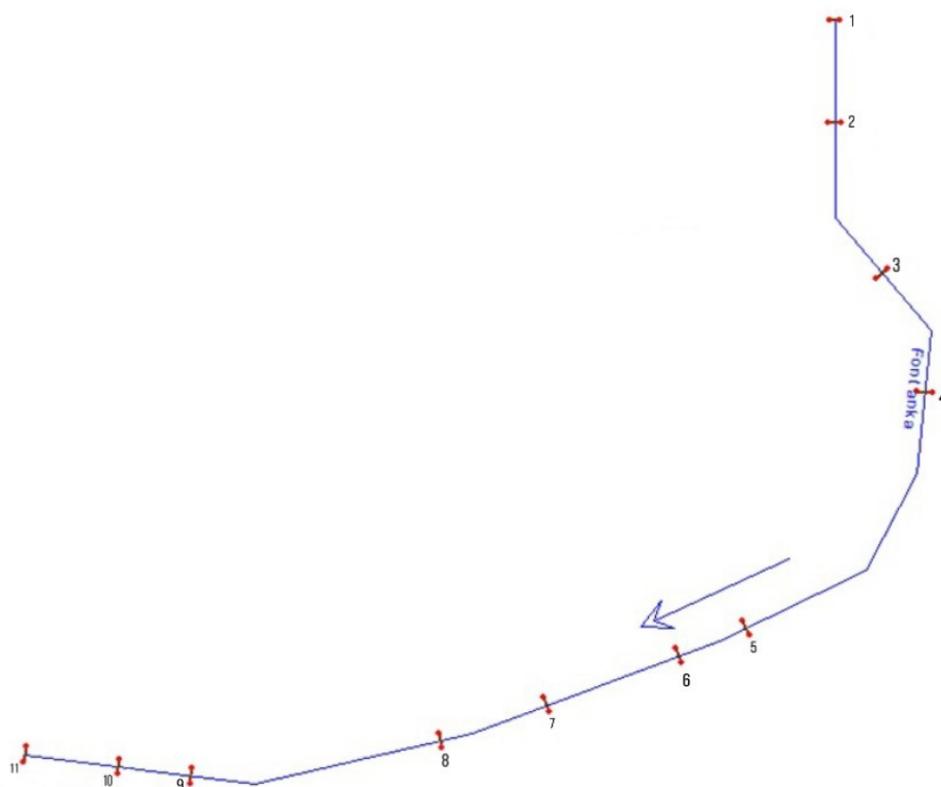


Рисунок 3.28 – Схема расположения постов

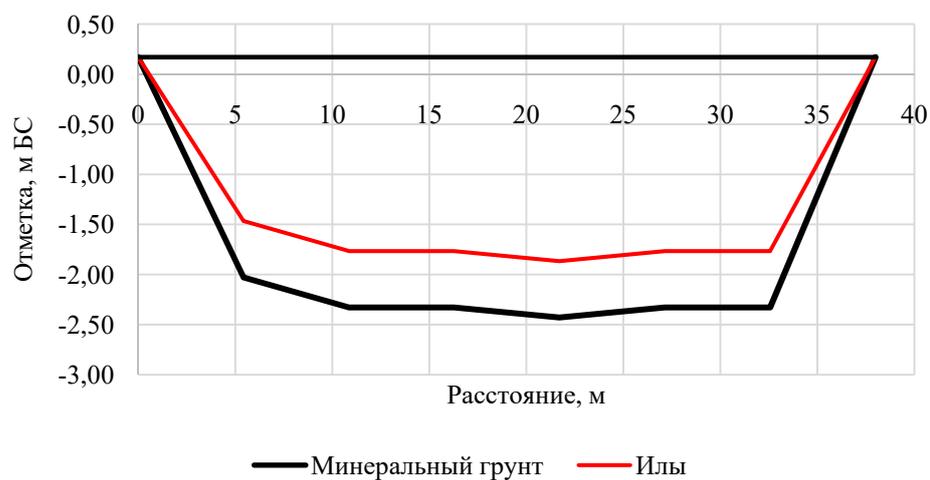


Рисунок 3.29 – Поперечный профиль р. Фонтанки, створ №1 (модель заносимости)

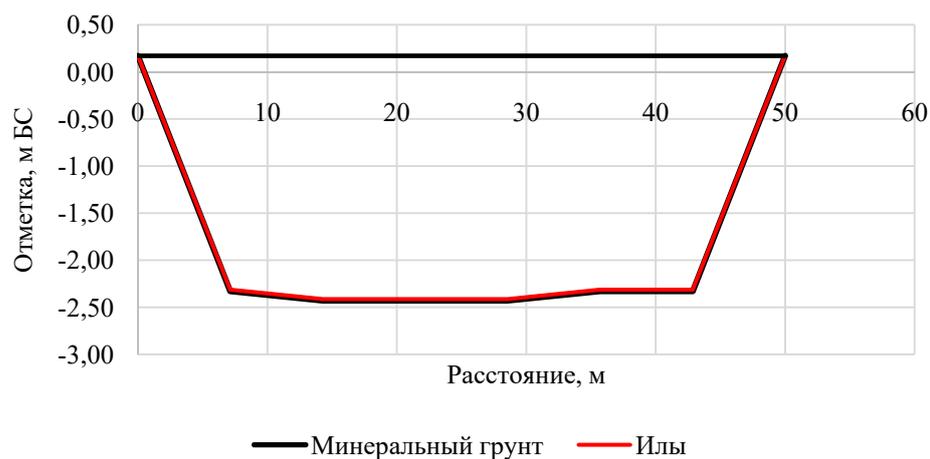


Рисунок 3.30 – Поперечный профиль р. Фонтанки, створ №2 (модель заносимости)

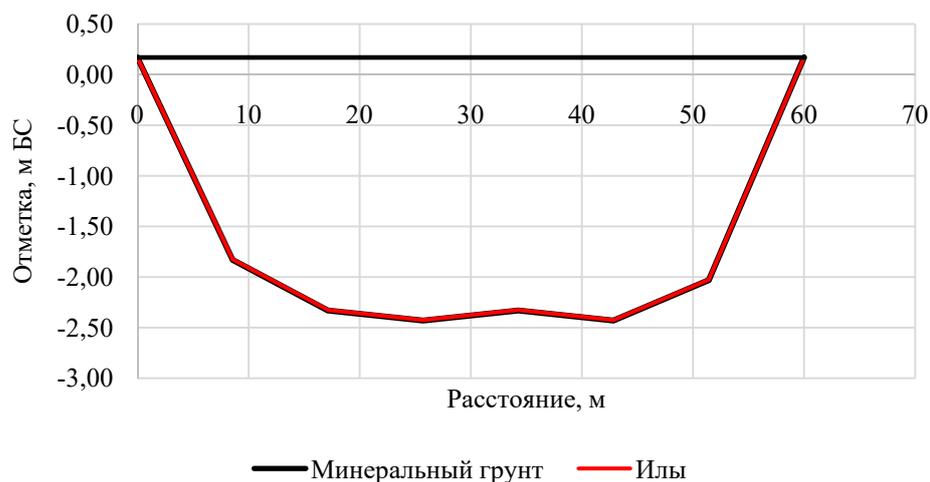


Рисунок 3.31 – Поперечный профиль р. Фонтанки, створ №3 (модель заносимости)

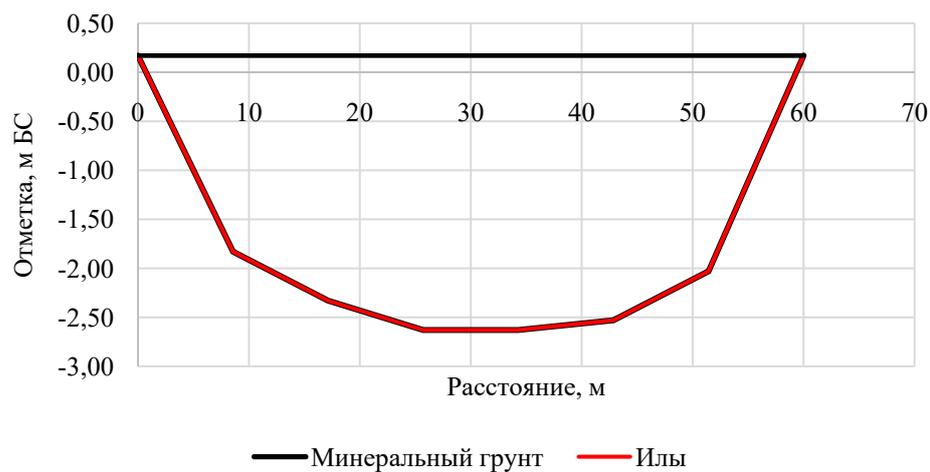


Рисунок 3.32 – Поперечный профиль р. Фонтанки, створ №4 (модель заносимости)

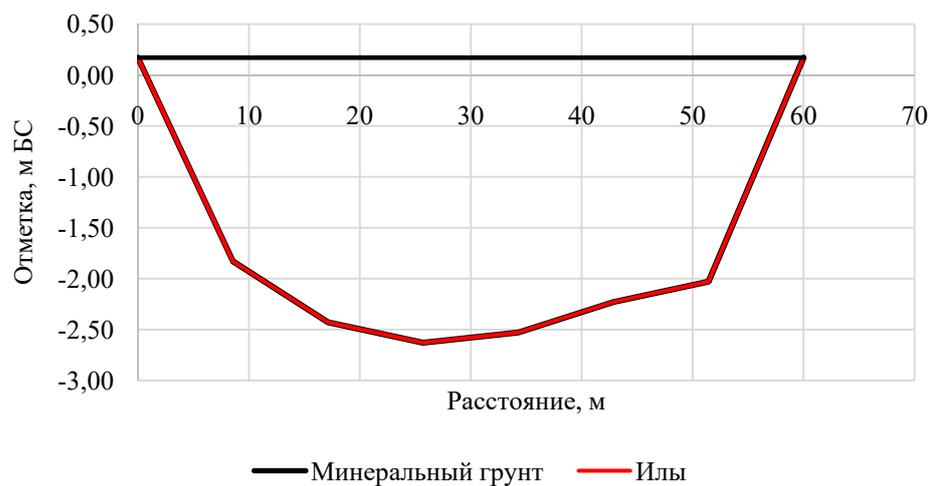


Рисунок 3.33 – Поперечный профиль р. Фонтанки, створ №5 (модель заносимости)

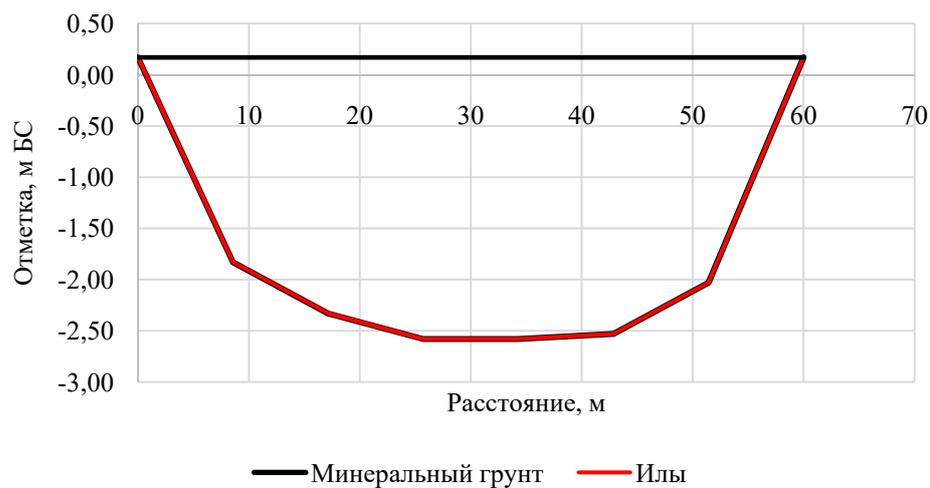


Рисунок 3.34 – Поперечный профиль р. Фонтанки, створ №6 (модель заносимости)

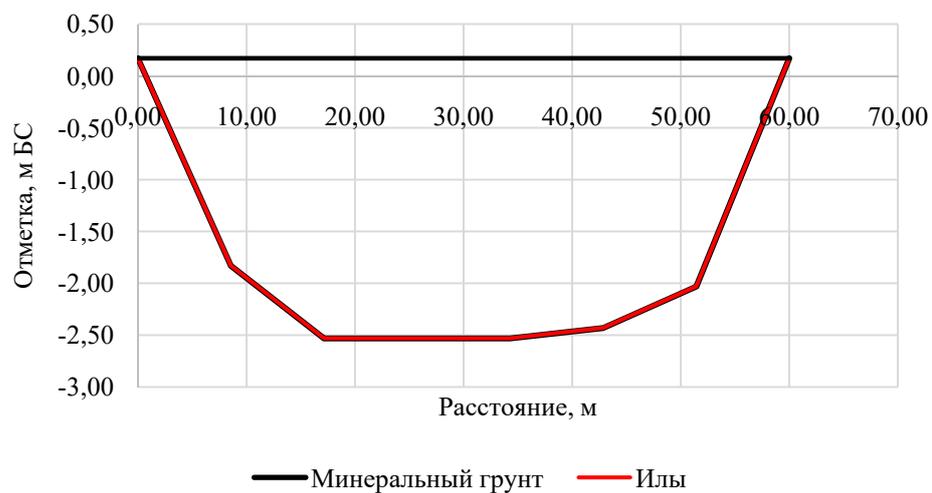


Рисунок 3.35 – Поперечный профиль р. Фонтанки, створ №7 (модель заносимости)

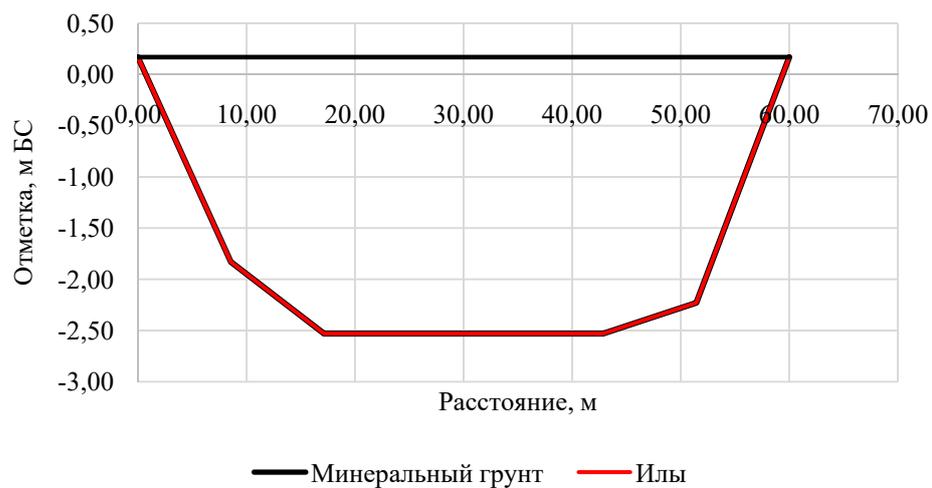


Рисунок 3.36 – Поперечный профиль р. Фонтанки, створ №8 (модель заносимости)

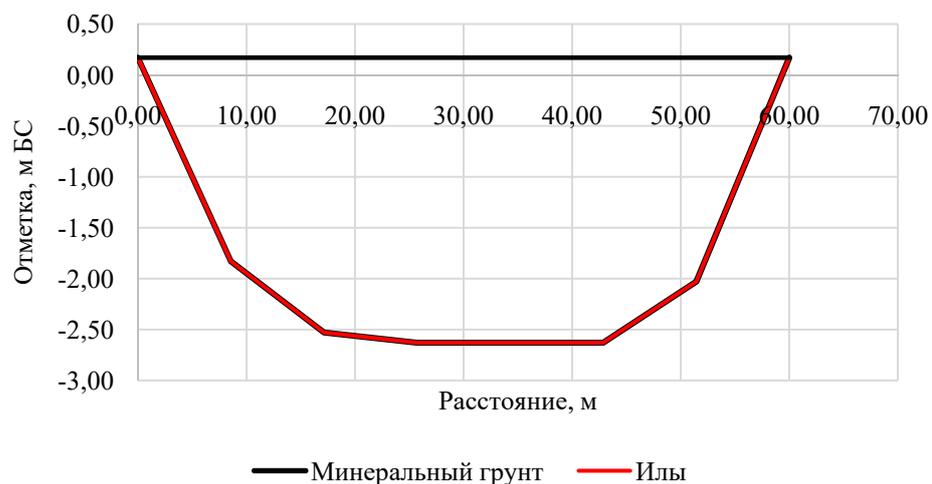


Рисунок 3.37 – Поперечный профиль р. Фонтанки, створ №9 (модель заносимости)

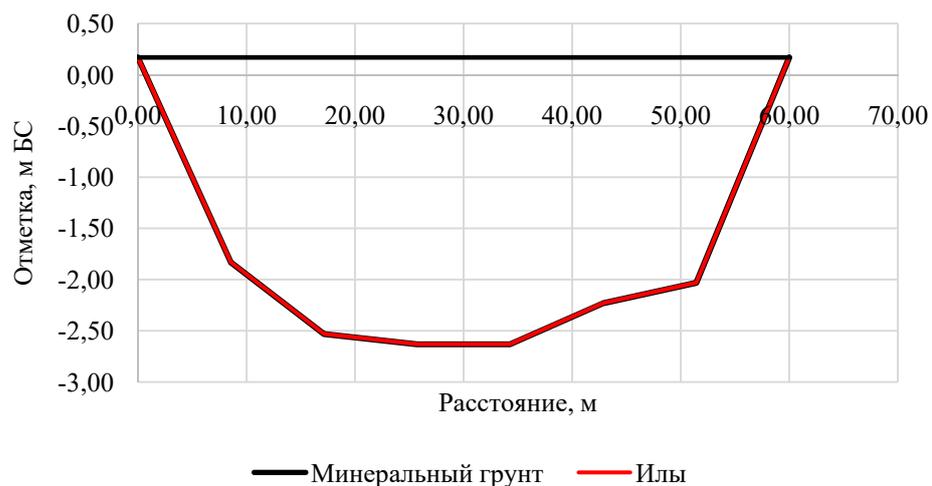


Рисунок 3.38 – Поперечный профиль р. Фонтанки, створ №10 (модель заносимости)

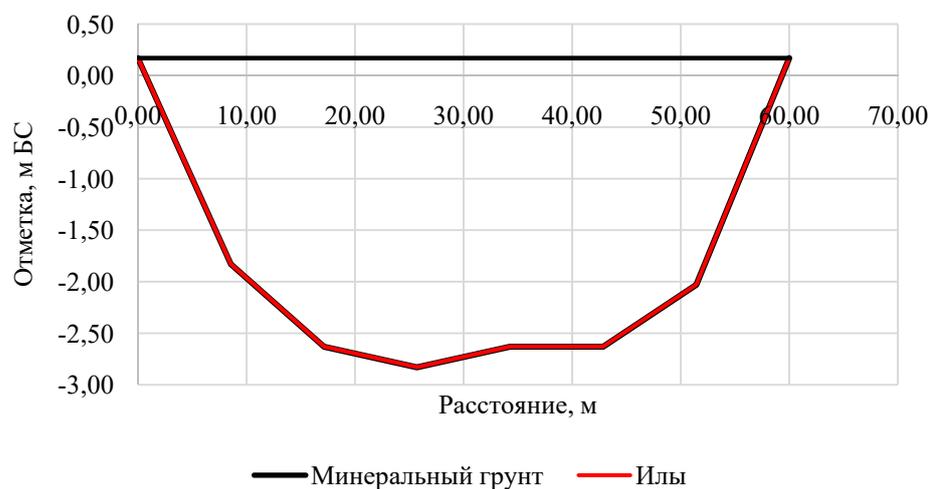


Рисунок 3.39 – Поперечный профиль р. Фонтанки, створ №11 (модель заносимости)

Из результатов моделирования видно, что занесению в большей степени подвержен створ №1, находящийся в истоке р. Фонтанки. Согласно расчетам, мощность донных отложений в этом створе составляет 56 см, на остальных створах мощность не превышает 2 см.

Данные для расчета скорости заносимости, а также информация по объемам донных отложений и скоростям заносимости р. Фонтанки приведены в таблице 3.5.

В общем случае применительно к решаемой в данной работе задаче средняя скорость заносимости по водотоку рассчитывается как разность накопленного и изъятого грунта, отнесенная к количеству лет, прошедших с года последней дноочистки. Для р. Фонтанки, для которой нет данных об объемах изъятого во время дноочистки, полагается, что вся мощность донных отложений накоплена начиная с года дноочистки.

В общем случае, скорость осадконакопления рассчитывается как мощность накопленных грунтов, отнесенная на количество лет, прошедшее с года последней дноочистки. Переход от объемов к мощности донных отложений осуществляется делением всего объема донных отложений на площадь зеркала водного объекта. В среднем для Фонтанки скорость осадконакопления составляет от 2.2 см/год в истоке до 2.8 см/год в устье.

В таблице 3.5 представлены данные для расчета скорости заносимости. Ввиду существенной протяженности водотока и неравномерности продольного профиля и распределения донных отложений оценка скорости заносимости проводится с учетом разделения русла на части.

Таблица 3.5 – Данные для расчета скорости заносимости

№	Водный объект	Год	Проектная глубина, м	Объем изъятго грунта, м ³	Мощность донных отложений на участке, см	Длина реки/канала, км	Объем донных отложений, м ³	Скорость заносимости, см/год
1	Исток Фонтанки – Мост Белинского	2013	2.7	22267	20	1.18	11594	2.2
2	Мост Белинского – Мост Ломоносова	2013	2.7	29216	22	1.24	16902	2.4
3	Мост Ломоносова – Обуховский мост	2012	2.7	30905	23	1.24	17831	2.3
4	Обуховский мост – Красноармейский мост	2011	2.7	31105	29	0.98	14312	2.6

Таблица 3.5 – Данные для расчета скорости заносимости (продолжение)

№	Водный объект	Год	Проектная глубина, м	Объем изъятго грунта, м ³	Мощность донных отложений на участке, см	Длина реки/канала, км	Объем донных отложений, м ³	Скорость заносимости, см/год
5	Красноармянский мост – Старо-Калинкин мост	2010	2.7	31850	34	1.3	25370	2.8

Также были выявлены участки, наиболее подверженные процессам заносимости. В истоке в Фонтанку поступают наносы левобережной части Невы. На участке вдоль Летнего сада осаждаются наносы песчаной фации. В средней части начинаются процессы осаждения илистых фракций, которые нарушаются в период навигации.

Наиболее подвержен заилению нижний участок течения. Помимо естественных факторов осадконакопления, существенную роль на нижнем участке играет и снижение интенсивности судоходства.

3.4 Методика расчета заиления р. Фонтанки

Для расчета толщины наилка был использован расход донных наносов, который был определен как удельный расход донных наносов, умноженный на количество дней в году. Удельный расход наносов был рассчитан по формуле Гришанина:

$$q_T = \frac{\rho_T}{\rho_{отл}} 0,015 \left(\frac{V}{V_0}\right)^3 d(V - V_0), \quad (3.1)$$

- где ρ_T – плотность частиц, кг/м³;
 $\rho_{отл}$ – плотность донных отложений, кг/м³;
 V – средняя скорость потока, м/с;
 V_0 – неразмывающая скорость, м/с;
 d – средневзвешенный диаметр донных наносов, м.

Данные для расчета приведены в таблице 3.6. Выбор формулы для расчета удельного расхода донных наносов был обусловлен безгрядовым режимом перемещения наносов [14].

Таблица 3.6 – Расчет расхода донных наносов

Плотность частиц, кг/м ³	Плотность донных отложений, кг/м ³	Средняя скорость потока, м/с	Неразмывающая скорость, м/с	Средневзвешенный диаметр донных наносов, м	Расход донных наносов, м ³ /год
2650	1650	0.24	0.20	0.0013	4300

В качестве гранулометрического состава был принят гранулометрический состав в истоке р. Фонтанки. Данные для расчета и результаты представлены в таблице 3.7.

Распределение слоя наилка по фракциям представлено на рисунке 3.38. Наибольшая толщина слоя соответствует частицам, расчетный диаметр которых составляет 5 мм. С уменьшением диаметра уменьшается толщина слоя.

На рисунке 3.39 показано распределение толщины наилка по длине р. Фонтанки. Из графика видно, что большая часть наилка осаждается у истока, на первых 93 метрах. Наибольшая толщина наилка составляет около 27 см. В истоке отложения представлены в основном песчаной фракцией аллювия. По мере приближения к устью происходит накопление илистой фракции. В

средней части, историческом центре города, процессы осаждения наносов нарушены в период навигации, из-за интенсивного судоходства.

Таблица 3.7 – Расчет толщины наилка и границы полного осаждения фракций

Расчетный диаметр, мм	Процентное содержание фракций	Гидравлическая крупность	Средняя глубина, м	Средняя скорость, м/с	Расход воды, м ³ /с	Средний слой наилка, см	Граница полного осаждения фракции, км
10	0	0.42	2.7	0.24	38.8	0.0	0.000
5	16.7	0.30	2.7	0.24	38.8	14.4	0.002
2	7.8	0.19	2.7	0.24	38.8	6.5	0.003
1	5.4	0.12	2.7	0.24	38.8	2.1	0.006
0.5	18.4	0.06	2.7	0.24	38.8	2.5	0.011
0.2	22	0.02	2.7	0.24	38.8	1.0	0.033
0.1	15	0.007	2.7	0.24	38.8	0.3	0.093
0.05	13.1	0.002	2.7	0.24	38.8	0.1	0.334
0.01	0.5	0.0001	2.7	0.24	38.8	0.0	8.25
0.005	0.5	0.00002	2.7	0.24	38.8	0.0	32.1
0.001	0.6	0.000001	2.7	0.24	38.8	0.0	825

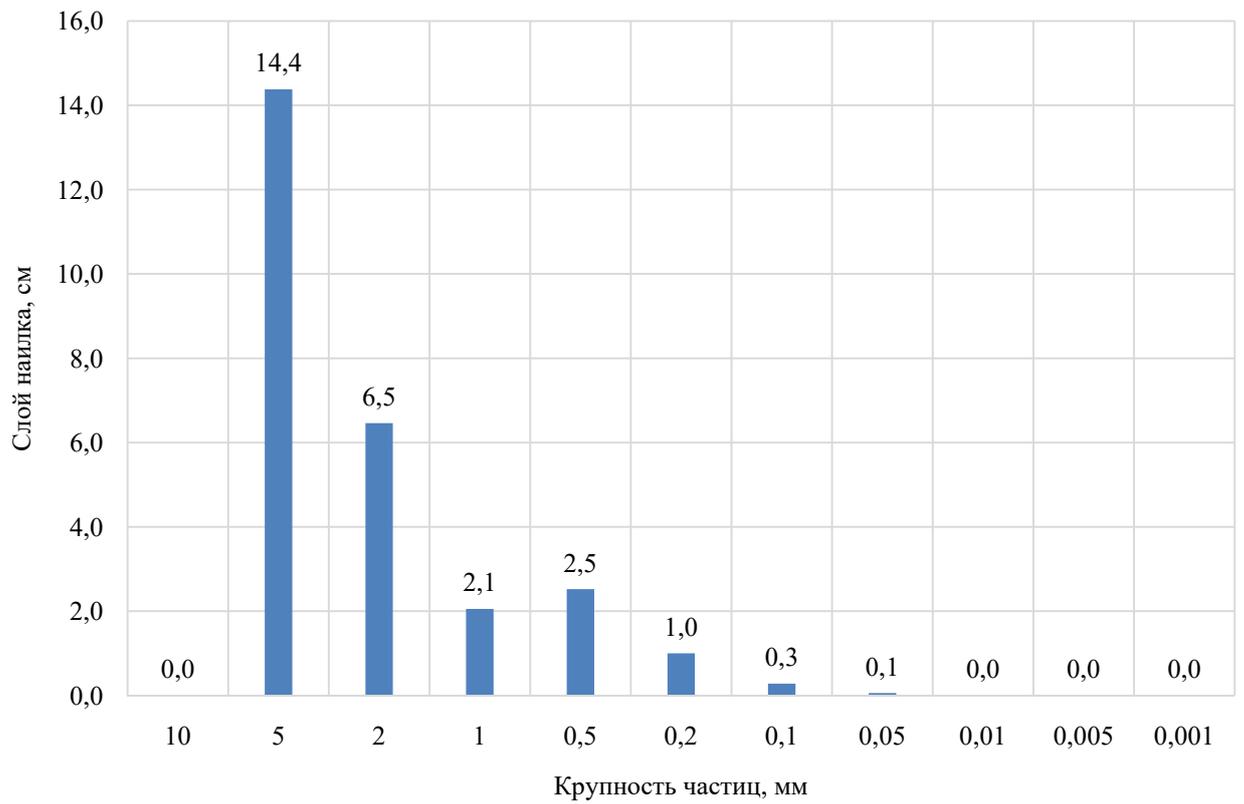


Рисунок 3.38 – Распределение слоевнаилка по фракциям

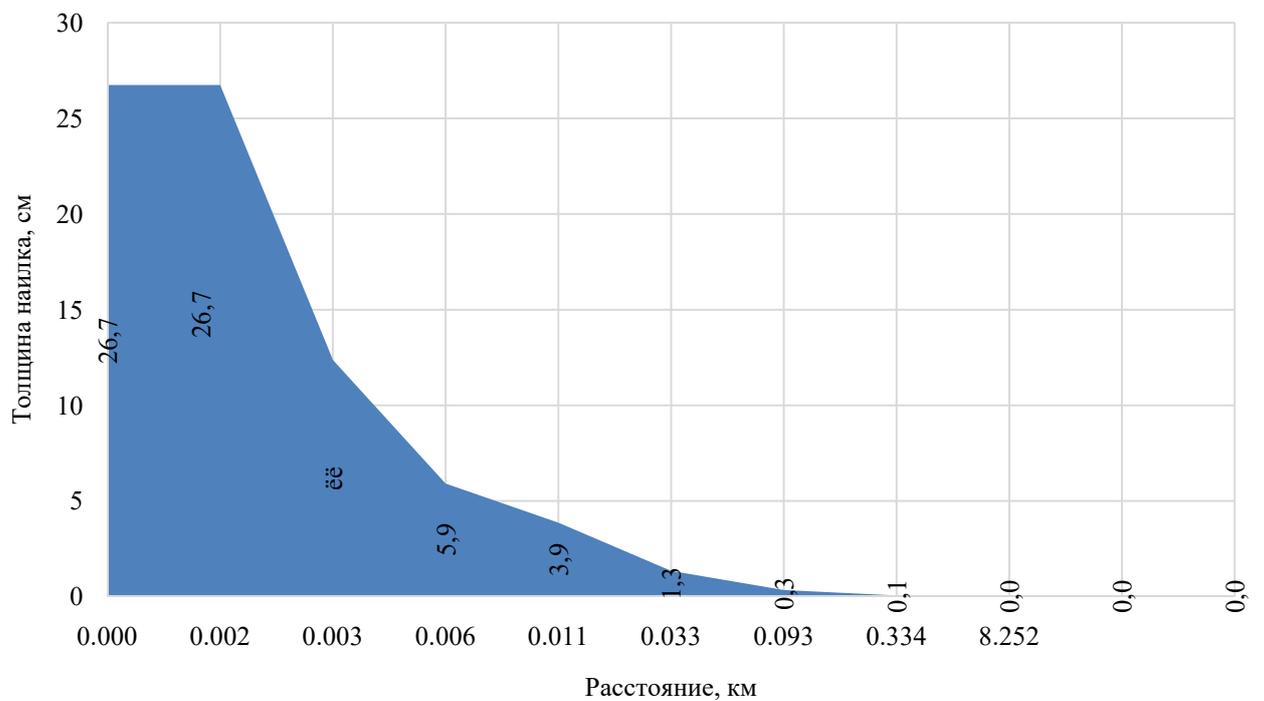


Рисунок 3.39 – Распределение наилка по длине р. Фонтанки

4. Определение межремонтных сроков очистки русла

Исходя из периода накопления и накопленного объема донных отложений и скорости заносимости, можно ожидать удвоения мощности илов в среднем до 25 см за период около 10 лет.

Р. Фонтанка является судоходным водотоком. В настоящее время исследуемый водный объект не нуждается в дноочистке в связи с небольшой мощностью донных отложений (в среднем 20 см), определенной в среднем по всей длине водотока. Но окончательное решение по дноочистке должно быть построено на основе комплексного анализа химического состава донных отложений (класс опасности) и эколого-биологических процессов в придонном слое. С учетом этого рекомендуется мониторинг химико-биологического состояния илов с периодичностью раз в два года.

Следует заметить, что текущее изменение климата в северо-западном регионе обуславливает перемены в водности водных объектов. Водность, в свою очередь, определяет интенсивность поступления твердого вещества в русло.

Также изменение характера антропогенной нагрузки со стороны водосбора также может привести к изменению количества поступающего твердого вещества в водоток. В частности, сбросы снега, присыпанного песком для профилактики гололеда, при очистке дорог и тротуаров, непосредственно в русло реки.

Из всего вышесказанного следует, что природные и антропогенные факторы могут привести соответствующие коррективы в приведенные в данной работе оценки скорости заносимости водотока. Так, увеличение

водности увеличит скорость заносимости и сократит рекомендуемый период между дноочистками.

Заключение

В результате подготовки магистерской диссертации был выполнен расчет занесения и заиления р. Фонтанки, а также составлены рекомендации по проведению дноочистных работ. Проанализировав полученные результаты, можно сделать следующие выводы.

Основным, постоянно действующим источником формирования донных отложений р. Фонтанки являются взвешенные наносы, поступающие в ее исток с невской водой.

По мере движения вниз по течению к составу наносов, поступающих из р. Невы, добавляется твердый материал, поступающий в результате антропогенной нагрузки (со снеговым и ливневым стоком).

Морфологический состав донных отложений реки Фонтанки разнообразен и сложен. Отложения представлены гравелистыми песками в истоке, последовательно сменяющимися друг друга пылью крупной опесчаной, песком мелким пылеватым и песком пылеватым в среднем течении, песком средне-мелким в нижнем течении.

Результаты расчета толщины наилка и границ полного осаждения фракций показывают, что в истоке, на протяжении первых 93 метров, осаждаются частицы крупностью не менее 5 мм, что может отражаться в результатах моделирования процесса занесения, выполненного при помощи HEC-RAS, а также подтверждается данными натурных исследований донных отложений.

Исходя из периода накопления и накопленного объема донных отложений и скорости заносимости р. Фонтанки, можно ожидать удвоения мощности илов в среднем до 25 см за период около 10 лет. Исходя из скорости заиления р. Фонтанки, в настоящее время исследуемый водный объект не

нуждается в дноочистке в связи с небольшой мощностью донных отложений. Однако окончательное решение по дноочистке должно быть построено на основе комплексного анализа химического состава донных отложений (класс опасности) и эколого-биологических процессов в придонном слое.

Список использованных источников

1. Карасев И.Ф., Шумков И.Г. Гидрометрия. [Текст] / И.Ф. Карасев., Шумков И.Г. – Л.: Гидрометеиздат, 1985.– 380 с.
2. Нежиховский Р.А. Река Нева.[Текст]. / Р.А. Нежиховский. – Л.: Гидрометеиздат, 1973.– 191с.
3. П. Я. Канн. Прогулки по Петербургу. — Палитра, 1994. — С. 8—9.
4. Почему же Фонтанка называется Фонтанкой.[электронный текст] — Дзен : [сайт]. — URL: <https://dzen.ru/a/YSvN6cLkjEvCmsRj> (дата обращения: 25.03.2023).
5. Нежиховский, Р.А. Река Нева и Невская губа[Текст] / Р.А. Нежиховский. — Л. :Гидрометеиздат, 1981. — 112 с.
6. Река Фонтанка: история, фото.[электронный текст] —FB.ru : [сайт]. — URL: <https://fb.ru/article/247149/reka-fontanka-istoriya-foto>(дата обращения: 25.03.2023).
7. Караушев, А.В. Сгонно-нагонные явления на водохранилищах и озерах [Текст] / А.В. Караушев. — Л.: Гидрометеиздат, 1960. — 215 с.
8. Помыткин, Б.А. Сейшевые колебания уровня Балтийского моря и их влияние на наводнение в дельте р. Невы [Текст] / Б.А. Помыткин. — Изв. ВГО, 1977 г. т. 109, с. 143-150.
9. Нежиховский Р.А. Вопросы гидрологии реки Невы и Невской губы. [Текст] / Р.А. Нежиховский. — Л. :Гидрометеиздат, 1988. — 224 с.
10. Расплетина, Г.Ф., Ульянова, Д.З., Шерман, Э.Э. Гидрохимия Ладожского озера. [Текст] / Г.Ф. Расплетина, Д.З. Ульянова, Э.Э. Шерман. — Труды лаборатории озероведения АН СССР, 1967, т. 23, с. 160-172.
11. Моносов, М.Л., Бессан., Г.Л., Садков, В.М. Влияние сгонно-нагонных колебаний науровня на режим солености Невской губы. [Текст] / М.Л. Моносов, Г.Л. Бессан, В.М. Садков. — Сб. работ ЛГМО, 1981, вып. 12, с. 137-142.

12. Гидрология устьевой области Невы [Текст] / под ред. С.С. Байдина.— Л.: Гидрометеиздат, 1965.— 382 с

13. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 6, ч. I. Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках[Текст] / Л.: Гидрометеиздат, 1978.

14. Барышников Н.Б. Русловые процессы. [Текст] / Н.Б. Барышников. — СПб.: РГГМУ, 2008. — 440 с.